

Redes de Acesso
Parte D - Redes Híbridas Fibra Cabo Coaxial (HFC)
Mário Serafim Nunes, IST, Março 2005

1	INTRODUÇÃO	2
2	ARQUITECTURA HFC	2
3	NORMAS DOCSIS	6
3.1	Arquitectura de referência	6
3.2	Estrutura das normas	7
3.3	Plano de frequências	8
3.4	Estrutura de protocolos	8
4	PROTOCOLOS NA INTERFACE CMTS-NSI	8
4.1	IP sobre ATM	9
4.2	IP sobre IEEE 802.3	9
4.3	IP sobre Ethernet	10
5	PROTOCOLOS NA INTERFACE CMCI	10
6	INTERFACE DE RETORNO VIA LINHA TELEFÓNICA	12
7	PROTOCOLOS NA REDE DE CABO	13
8	CAMADA FÍSICA	15
8.1	Downstream	15
8.1.1	Subcamada 'Physical Media Dependent' (PMD)	15
8.1.2	A subcamada 'Downstream Transmission Convergence'	16
8.2	Upstream	16
9	CAMADA MAC	19
9.1	Mini-slots e canais lógicos upstream	19
9.2	Trama MAC	20
9.3	Atribuição de banda upstream	24
9.4	Suporte de qualidade de serviço	26
9.4.1	Unsolicited grant service (UGS)	27
9.4.2	Unsolicited grant service with activity detection (UGS-AD)	28
9.4.3	Real-time polling service (rtPS)	29
9.4.4	Non-real-time polling service (nrtPS)	29
9.4.5	Best effort (BE) service	30
9.4.6	Committed information rate (CIR) service	30
9.5	Especificações da interface de gestão e operação	30
10	BASELINE PRIVACY PLUS (BPI+)	30
11	EURO DOCSIS	32
12	BIBLIOGRAFIA	32
13	ACRÓNIMOS	34

1 Introdução

As redes por cabo apareceram com o objectivo de distribuição de sinal analógico de televisão, pelo que na sua fase inicial a estrutura das redes de televisão por cabo eram estruturas unidireccionais, eficazes na distribuição de canais de TV, baseadas numa topologia em “árvore”, com os clientes dispostos ao longo dos ramos - do inglês *tree-and-branch* (Figura 1). A infra-estrutura da rede de televisão por cabo tradicional é constituída por três partes principais: primária (*trunk portion*), secundária (*feeder portion*) e de ligação ao cliente (*drop*). Através das sub-redes primária e secundária os sinais são transportados até um ponto na vizinhança dos potenciais clientes. O objectivo principal é cobrir as distâncias envolvidas, preservando em simultâneo a qualidade do sinal de modo económico. A sub-rede primária representa, em média, cerca de 10% da infra-estrutura física da rede, enquanto que a sub-rede secundária representa cerca de 40%. O cabo flexível que vai até casa do cliente, o *drop*, representa cerca de 50% dos cabos instalados [1].

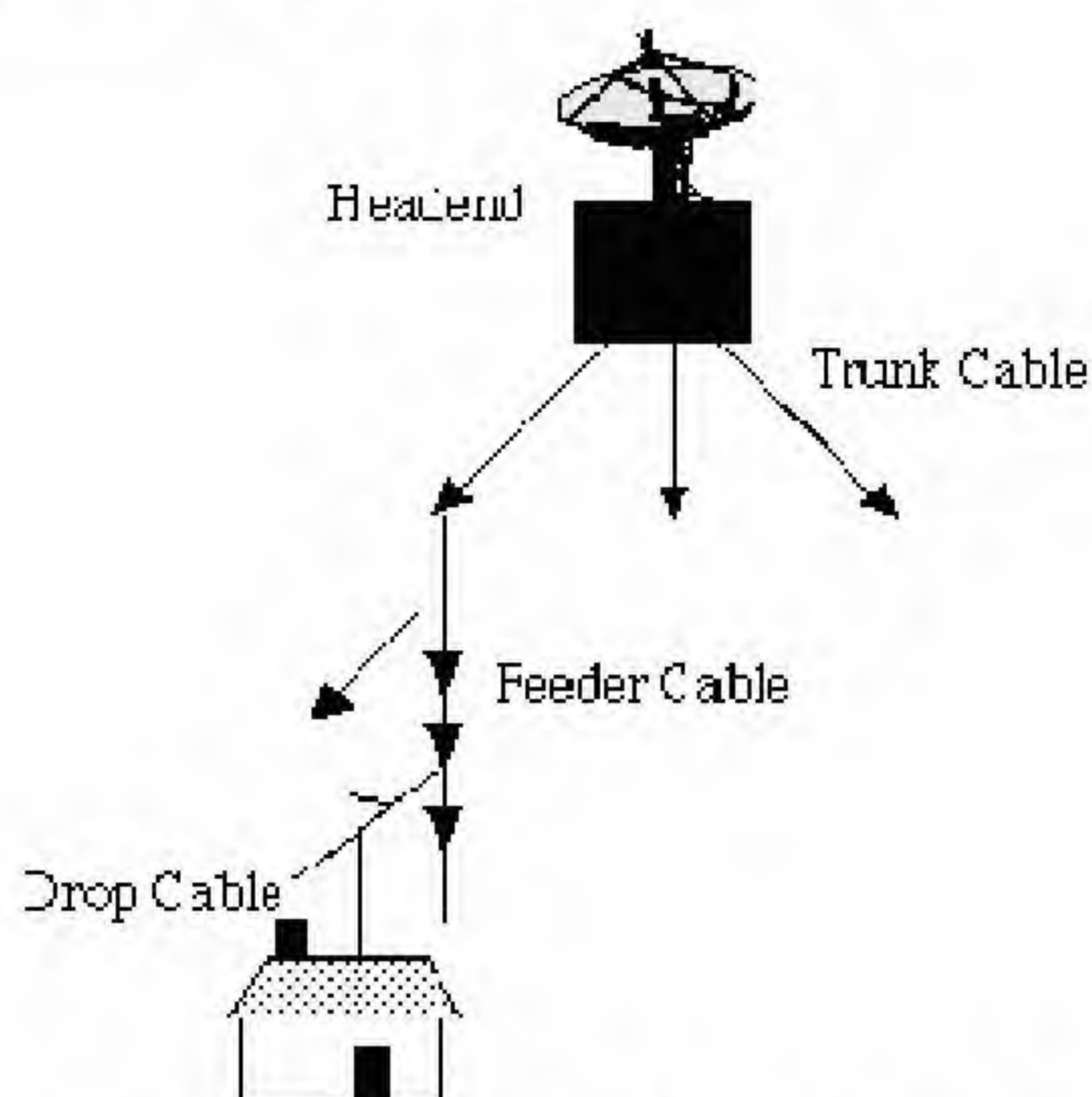


Figura 1 - Arquitectura tradicional de sistemas de TV por cabo

O meio de transmissão usado era apenas cabo coaxial, com os problemas de transmissão inerentes devidos às suas elevadas perdas, tanto maiores quanto maior a frequência do sinal que o percorre. Para ultrapassar esta limitação, recorreu-se ao uso de amplificadores de RF, contudo o uso destes elementos activos, dispostos muitas vezes em longas cascatas, provocam a degradação da qualidade da imagem no receptor do cliente, devido ao ruído e à distorção que introduzem. Assim, no início dos anos noventa, o advento da fibra óptica em redes de televisão por cabo, tirando partido das suas propriedades de transmissão (baixa atenuação, grande largura de banda e imunidade a ruído radioelétrico), trouxe alterações significativas ao nível arquitectural das redes de televisão por cabo.

Como analisaremos adiante, os dois principais avanços do progresso actual em redes de televisão por cabo são a arquitectura híbrida fibra/cabo coaxial (em inglês, *HFC- Hybrid Fiber Coax*) e o vídeo digital.

2 Arquitectura HFC

Os cabos de fibra óptica, os transmissores e receptores ópticos são dispositivos caros. Por isso, a disponibilização de fibra óptica até casa do cliente não é uma solução economicamente viável, apesar de tecnicamente possível. Assim, a sua aplicação prática requer que cada um destes componentes sirva centenas de clientes, de modo a haver partilha dos custos, que se traduz numa solução de compromisso: utilização mista de cabos de fibra óptica (nos troços mais longos da rede) e cabos coaxiais nas zonas de distribuição. É a este tipo de redes que se dá a designação genérica de “Redes Híbridas -HFC” (Figura 2).

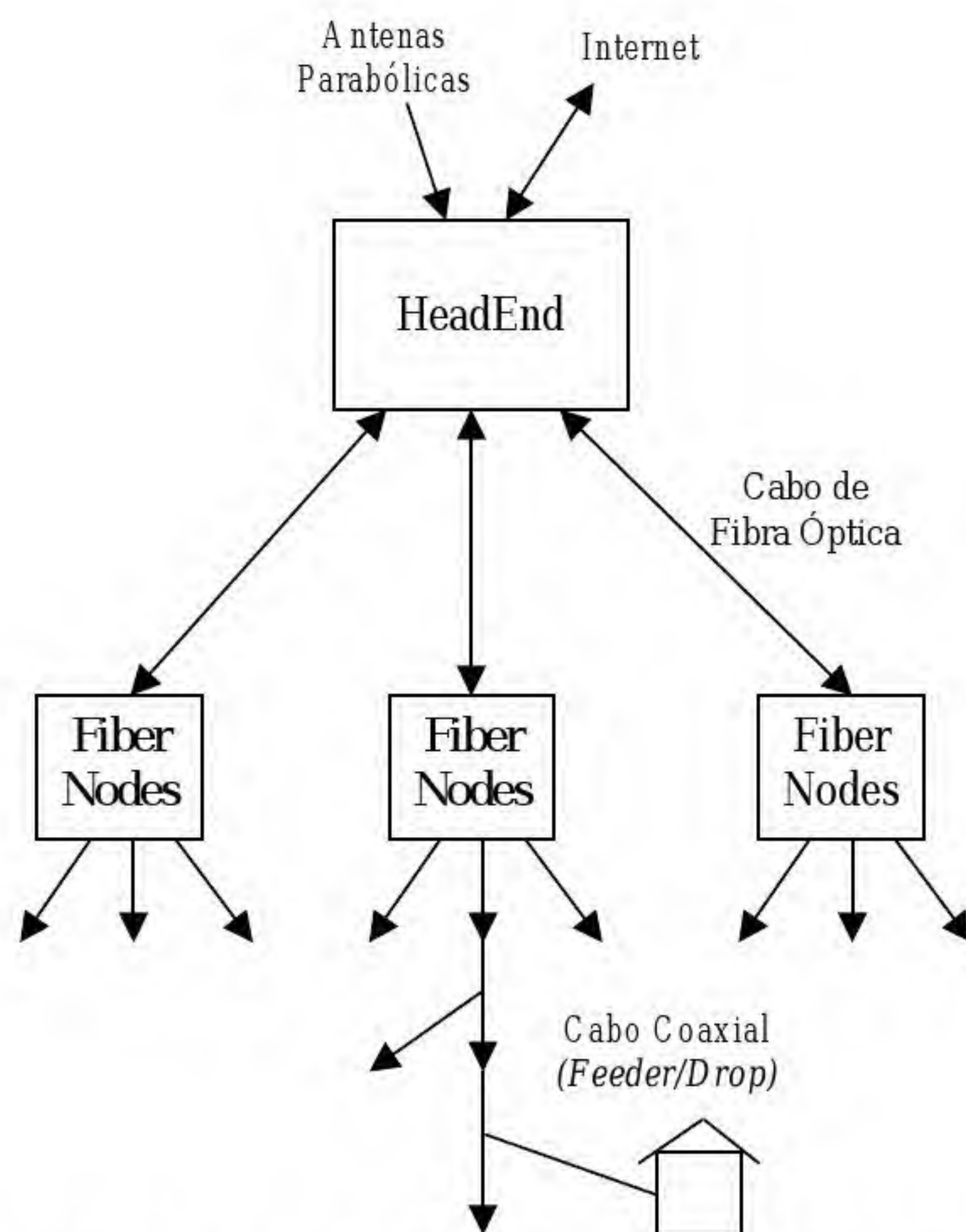


Figura 2 - Arquitectura típica de um sistema HFC.

Esta arquitectura segmenta a rede de televisão por cabo em células de dimensão variável (consoante o grau de penetração da fibra óptica e o número de clientes potenciais), com cascatas de amplificadores limitadas a 4-6 amplificadores. Cada uma destas células está ligada à “Cabeça de Rede” por fibra óptica, numa topologia em estrela. Compromissos tecno-económicos ditam que o tamanho das células individualizadas varie de 500 a 2000 casas passadas.

A arquitectura *HFC* tornou assim possível aumentar a largura de banda do sistema, a sua fiabilidade e a qualidade do sinal de TV; por outro lado, permitiu reduzir os custos de manutenção (redução do número de amplificadores) mantendo as características de flexibilidade, na parte de distribuição, dos sistemas em árvore. Tornou, também, possível suportar comunicações bidireccionais.

A largura de banda do cabo coaxial não apresenta cortes abruptos, é a cascata de amplificadores que restringe a largura de banda do sistema. Trinta a quarenta amplificadores em série não reduzem apenas a largura de banda mas comprometem fortemente a fiabilidade do sistema. A instalação de cabos de fibra óptica elimina a cascata de amplificadores. Tal, por seu lado, deixa apenas a parte de distribuição da rede, com distâncias relativamente pequenas, e 3-4 amplificadores, o que traduz numa maior largura de banda do sistema. A comunicação bidireccional torna-se prática por duas razões: primeira, a própria fibra óptica é imune a interferências radioeléctricas; segunda, como o sistema é segmentado em células, cada uma isolada das outras, mesmo que haja ingresso de sinais que possam causar interferência numa destas células, o desempenho das restantes não é afectado.

Nos EUA, durante os últimos três anos, a implementação de cabos de fibra óptica na indústria de televisão por cabo cresceu mais de 100% ao ano. Estimativas actuais indicam que mais de 33% de todos os clientes são servidos por sistemas com arquitectura *HFC*, havendo estimativas de que esse número aumentará dramaticamente durante os próximos 5 anos [1]. Por outro lado, à medida que mais operadores de televisão por cabo integram fibra óptica nas suas redes, efectuando ao mesmo tempo a sua renovação e reestruturação, verifica-se um aumento da sua capacidade: sistemas com larguras de banda entre 330-400 MHz, suportando 40-52 canais, representam cerca de 75% dos sistemas instalados; aproximadamente cerca de 15% dos sistemas têm capacidades compreendidas entre 400 MHz - 1 GHz, com ofertas de 52-150 canais. Hoje em dia, é prática comum instalar componentes passivos com capacidade para trabalhar até 1 GHz, apenas pela substituição dos módulos amplificadores.

O outro avanço tecnológico que está a ter forte impacto nas redes de televisão por cabo é a tecnologia de compressão digital de vídeo e esquemas de modulação adequados. Hoje em dia, apesar de o progresso

tecnológico nesta área estar ainda em franca evolução, é já possível obter imagens de resolução satisfatória com taxas de transmissão de 3 a 6 Mbit/s. Aproveitando o facto do canal de transmissão (no sentido rede-utilizador) ter baixo ruído, é possível num único canal analógico de televisão (admitindo 7 MHz de largura de banda) colocar 7 a 14 programas digitais.

As actuais técnicas para compressão digital de vídeo baseiam-se nas normas *MPEG 1, 2* ou *4*, ou em variações destas. A compressão digital de vídeo é considerada como um dos elementos que potenciará a introdução de serviços de vídeo interactivo em redes de televisão por cabo. Todavia, existem outro tipo de redes, além das de televisão por cabo, que também beneficiam destes avanços tecnológicos, nomeadamente as redes sem fios, quer as de difusão terrestre por microondas quer as de televisão por satélite. Nos EUA e Europa, vários operadores de televisão por cabo oferecem já um serviço comercial usando a norma *MPEG-2*.

Atendendo à proliferação de programas de entretenimento e à introdução de serviços interactivos, que requerem a transmissão de forma individualizada para cada cliente, deixará de ser praticável difundir a totalidade dos programas e serviços disponíveis por todos os segmentos da rede. Existem, todavia, três opções que permitem aumentar o leque de programas e a oferta de serviços por cliente:

- aumento da largura de banda: recurso à fibra óptica e a elementos activos com características técnicas superiores;
- segmentação da rede/reutilização do espectro: usando arquitecturas *HFC* e equipamento de comutação adequado é possível adicionar ao pacote básico de canais programas específicos apenas para os utilizadores de determinada célula; consequência também da segmentação é a reutilização do espectro, ou seja, utilizar os mesmos canais, em células distintas, mas com conteúdos diferentes;
- compressão digital de vídeo: anteriormente analisada.

Parte importante das redes de televisão por cabo diz respeito à capacidade de oferta de serviços actuais ou futuros, sendo condição fulcral que os sistemas implementados (ou a implementar) sejam evolutivos em relação aos serviços suportados. Dado que o parque mundial de aparelhos de televisão e vídeogravadores é analógico, que as normas de transmissão digital ainda não estão consolidadas e a crescente liberalização do sector das telecomunicações, verifica-se a existência de vários cenários para ocupação do espectro do cabo. Um possível cenário, ilustrado na Figura 3, é o seguinte:

- sentido ascendente (5-40 MHz): retorno digital de entretenimento e comunicações;
- sentido descendente (52-450 MHz): difusão analógica/digital de entretenimento;
- sentido descendente (500-750 MHz): digital, comunicações e entretenimento de banda estreita.

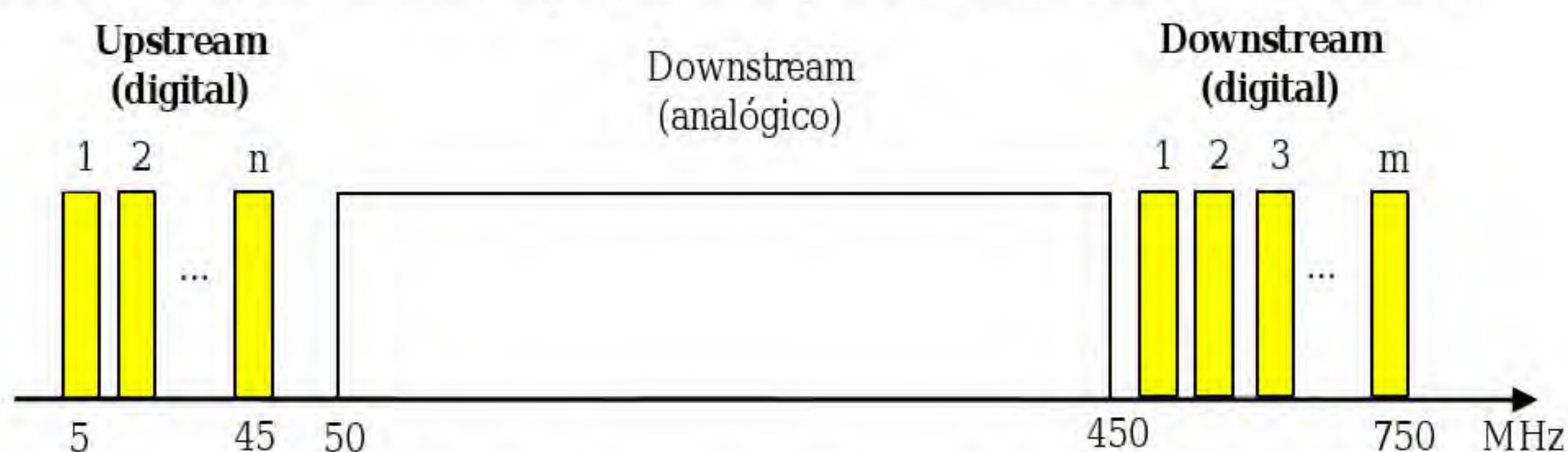


Figura 3 - Distribuição de espectro no cabo

Refira-se, no entanto, que a comunicação no sentido ascendente (utilizador-rede), mesmo sendo digital, apresenta alguns problemas como é caso do afunilamento do ruído (o ruído gerado nos amplificadores dos diferentes troços é cumulativo) e o ingresso de sinais que provocam interferência. Todavia, a utilização de células pequenas e fibras ópticas minimizam bastante os efeitos adversos provocados pelos referidos mecanismos.

Verifica-se em vários países onde existem vários operadores que possuem redes *CATV* dispersas geograficamente, a implementação de redes regionais em fibra óptica de modo a interligar e integrar essas diferentes redes (Figura 4). Tipicamente, até 500 utilizadores são suportados por nó óptico (*fiber node*); por sua vez, 40 nós ópticos estão conectados a um centro de distribuição (*distribution hub*), servindo cada um cerca de 20 000 clientes; os centros de distribuição estão, por seu lado, interligados a uma cabeça de rede principal (*master headend*) através de anéis em fibra óptica, recorrendo a tecnologia *SDH (SONET)* nos EUA) para a

transmissão e comutadores *ATM* para a comutação de informação digital, enquanto algumas fibras são dedicadas para suporte de informação analógica.

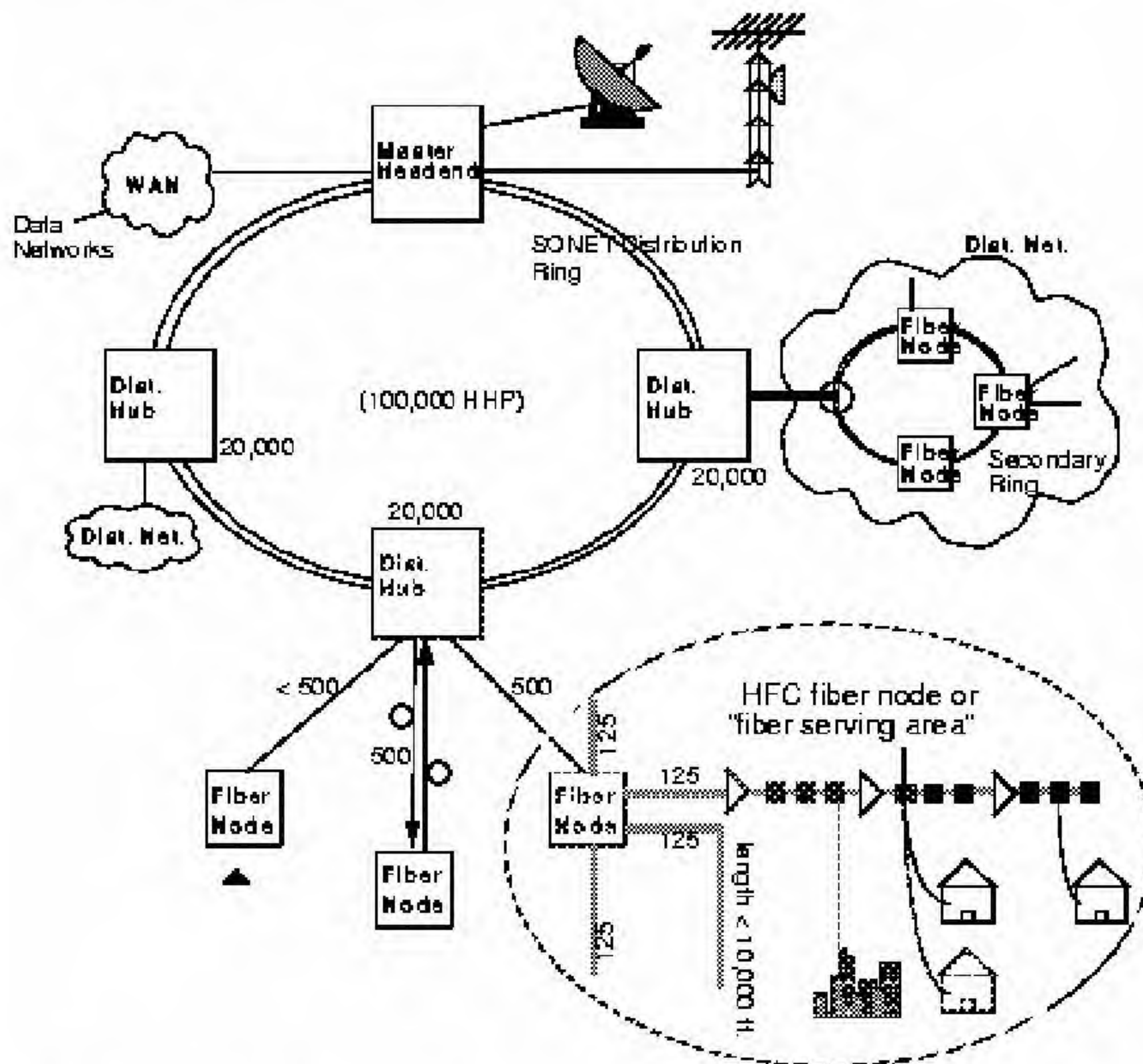


Figura 4 - Interligação de redes heterogéneas por fibra óptica

O *master headend* é a fonte primária dos serviços oferecidos ao utilizador, recebendo e processando sinais externos, ou gerando-os, servindo também de interface da rede de acesso a outras redes externas (e.g. a rede telefónica ou a Internet). De referir ainda que nesta arquitectura de rede, de modo a permitir maior flexibilidade e segmentação, existe a possibilidade de a cada centro de distribuição ser permitido injectar programação específica, tais como canais locais e inserção de publicidade.

Esta tendência tem também justificação no custo de serviços interactivos digitais (actuais ou previstos, tais como vídeo-a-pedido, acesso a bases de dados, jogos interactivos, etc.), os quais requerem equipamento na cabeça de rede bastante oneroso, que permita o armazenamento (servidores de dados e de vídeo), a compressão digital (vídeo), comutação de canais (comutadores ATM) ou a inserção de publicidade com tecnologia digital. Deste modo, seria possível a partilha de tais custos elevados por um número significativamente maior de utilizadores.

Ponto fulcral da evolução das redes *HFC* é a interoperabilidade entre as várias plataformas físicas de distribuição e seus elementos constituintes (comutação, transmissão e equipamento terminal) para suporte dos futuros serviços interactivos digitais. Actualmente existe uma diversidade de redes de CATV e *modems* (para voz e dados) de diferentes fabricantes, com especificações próprias e que funcionam em determinadas redes de CATV, o que impede a sua portabilidade. Assim, torna-se necessário desenvolver um conjunto de normas que garantam a interoperabilidade de equipamento de diferentes fabricantes, permitindo por outro lado obter economias de escala, com a consequente redução do seu custo. Neste sentido, vários esforços foram desenvolvidos, em especial no mercado norte-americano, de que se salienta o *IEEE 802.14 Working Group* e o *Multimedia Cable Network Systems Partners (MCNS)*.

O *IEEE 802.14 Working Group* foi responsável pela especificação da camada física e da camada de acesso ao meio para o transporte de dados sobre redes de televisão por cabo. A arquitetura de referência preliminar (*draft*) adotada especifica uma infra-estrutura física de fibra óptica e cabo coaxial com um raio de 80 km a partir da cabeça de rede [3].

A organização MCNS inclui a maioria dos operadores de televisão por cabo da América do Norte (80% dos utilizadores nos EUA, 70% do mercado canadiano e 20% do mexicano), bem como o seu braço de pesquisa, o Cable Television Laboratories (CableLabs), que tem como principais objectivos: i) desenvolver especificações técnicas de interfaces para proporcionar uma variedade de serviços de dados sobre redes *HFC* que sejam compatíveis com equipamento terminal e sistemas de cabo; ii) permitir independência de fabricantes, mas que ao mesmo tempo sejam adoptadas por estes, de modo a garantir a necessária interoperabilidade.

3 Normas DOCSIS

Como vimos atrás, as redes de HFC foram originalmente desenhadas para difusão de televisão analógica e rádio. A partir de meados dos anos 90, o desenvolvimento de tecnologia digital com baixo custo e o crescente interesse por serviços digitais interactivos veio trazer algumas experiências que deram origem a alguns protocolos proprietários, com os inerentes problemas associados a soluções fechadas, nomeadamente a ausência de interoperabilidade.

Em 1994 o IEEE 802.14 formou um grupo para desenvolver um standard internacional para Modem de Cabo (*Cable Modem*). Em Dezembro de 1995 foi publicado um documento onde foram definidas as metas a atingir.

Em Janeiro de 1996 um grupo de operadores de cabo reuniram esforços e agrupados na organização *Multimedia Cable Network System Partners* (MCNS) publicaram um *draft* das suas especificações em Março de 1997, chamado *Data Over Cable Service Interface Specifications* (DOCSIS 1.0) [2] para a comunidade de fabricantes. No início de 1998 o CableLabs começou um programa de certificação formal com o intuito de permitir que produtos produzidos por diferentes fabricantes fossem compatíveis. Em Março de 1998 o ITU aceitou o DOCSIS como standard do Modem de Cabo, o ITU J.112.

Em Abril de 1999 o CableLabs publicou as especificações da segunda geração do Standard, o DOCSIS 1.1, que veio adicionar alguns melhoramentos ao original, tais como uma QoS melhorada e capacidade de fragmentação de pacotes baseada no hardware, para suportar telefone baseado em IP e outros serviços de ritmo constante, isto é, garante largura de banda e tempos de latência compatíveis com a necessária qualidade de voz, ou outras aplicações de multimédia em tempo real através de rede de acesso e Modem de Cabo.

À medida que o uso generalizado das redes de cabo aumentava, a largura de banda disponível ficava cada mais desajustada das necessidades reais. Embora tenham sido feitos melhoramentos, a largura de banda disponível continuava a ser pouca, especialmente no canal de *upstream* (do utilizador para a rede). Para tal foi desenvolvida uma nova versão do protocolo, o DOCSIS 2.0 [7]. Este novo protocolo vem melhorar a eficiência da utilização da largura de banda de transmissão a nível físico, utilizando uma maior quantidade de símbolos de codificação, novos métodos de modelação, atingindo valores de até três vezes mais banda por canal ascendente. Este novo protocolo vem manter a compatibilidade com os formatos anteriores. Na tabela 1 apresentam-se os principais parâmetros das três versões de DOCSIS.

Tabela 1 - Parâmetros das diferentes versões DOCSIS

	Máx largura de banda por canal	Eficiência espectral/modulação	Máx. Débito de Dados por canal
DOCSIS 1.0	3,2 MHz	1,6 bps/Hz (QPSK)	5,12 Mbps
DOCSIS 1.1	3,2 MHz	3,2 bps/Hz (16 QAM)	10,24 Mbps
DOCSIS 2.0	6,4 MHz	4,8 bps/Hz (64 QAM ou 128 QAM/TCM)	30,72 Mbps

3.1 Arquitectura de referência

A arquitectura da rede HFC proposta nas normas DOCSIS é a apresentada na Figura 3.1.

A rede tem uma arquitectura em árvore, usando um híbrido de fibra e cabo ou simplesmente cabo. Esta apresenta três características:

- Transmissão bidireccional,

- Uma distância óptico/eléctrica máxima de 160 Km entre o CMTS e o CM mais distante, sendo a distância padrão de entre os 16 e 20 Km,
- Uma diferença de distâncias óptico/eléctrica máxima de 160Km entre o CMTS e o CM mais próximo e CMTS e o CM mais distante, sendo que esta distância é normalmente limitada a 24 Km.
- Cada fibra pode servir entre 500 a 2000 utilizadores, dependendo para tal a largura de banda disponibilizada a cada um.

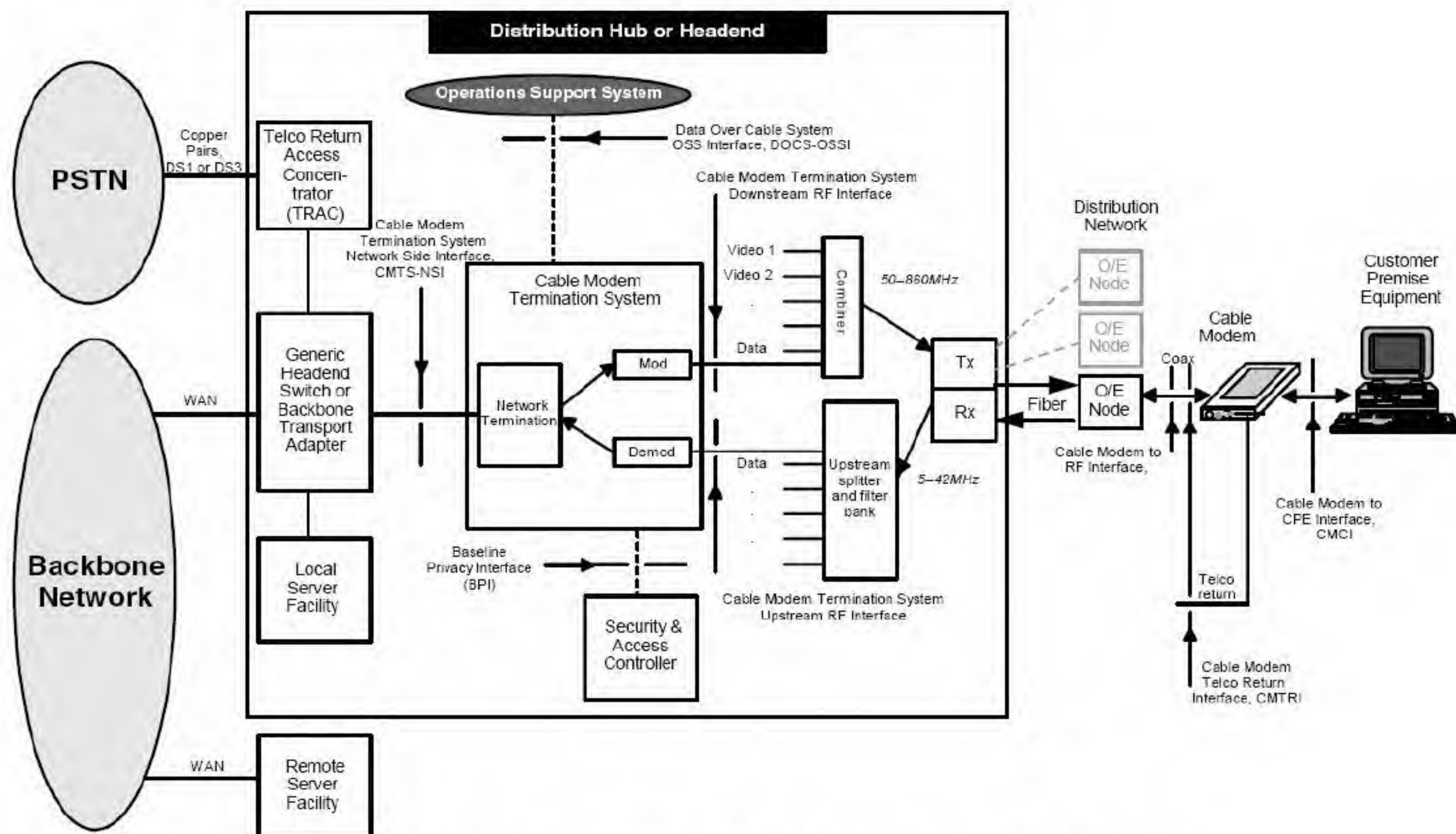


Figura 5 - Arquitectura de referência DOCSIS

3.2 Estrutura das normas

A norma DOCSIS 2.0 consiste em 12 documentos de especificações cobrindo todos os aspectos da arquitectura necessária para oferecer um serviço extremo a extremo. Como se pode observar na Figura 3.1, a arquitectura de referência contém várias interfaces, a saber:

- **Interface Modem de Cabo - Terminal (CMCI)** [4]. Interface entre o Modem de Cabo e o Terminal do utilizador.
- **Interface de Retorno Telefónico CMTRI** [5]. É uma interface entre o Cable Modem e o caminho de retorno telefónico, para usar nos casos em que o caminho de retorno não está disponível via rede de cabo.
- **Interface Rede-Cabo CMTS-NSI** [6] "*Cable Modem Termination System (CMCS) - Network Side Interface (NSI)*". Interface localizada no Headend, entre a terminação do cabo e a terminação de rede core.
- **Interface Rádio RF** [7]. Interface que descreve as interações entre o 'Cable Modem' e a rede de cabo; entre o CMTS e a rede de cabo em ambos os sentidos (*upstream* e *downstream*).
- **Interface de Privacidade BPI** [8]. Interface que descreve os mecanismos para garantia de privacidade no meio partilhado como é o cabo coaxial..
- **Interface de Suporte de Operação OSS** [9]. Interfaces de gestão entre os elementos da rede e de gestão de alto nível.

3.3 Plano de frequências

O plano de espectro de frequências para a transmissão de dados e sinal TV no cabo é constituído por dois grupos, *upstream* (sentido Terminal-Headend) e *downstream* (sentido Headend -Terminal), sendo este último constituído por sinal de TV analógica, sinal de dados e vídeo digital.

A gama de frequências para a transmissão upstream situa-se entre os 5MHz e os 25 a 65MHz, dependendo da implementação. Para a transmissão downstream é usada a gama de frequência tem como valor mínimo 47MHz, indo até 862 MHz, sendo que a partir dos 136 MHz é para o envio de dados e vídeo digital para serviços de televisão interactiva e outros. A ocupação de banda de canais analógicos de televisão, e no caso europeu, varia entre 7 e 8 MHz por canal, sendo que para dados este valor é de 8 MHz. Nos EUA a ocupação de espectro por parte dos canais de TV analógica é de 6 MHz.

3.4 Estrutura de protocolos

A arquitectura DOCSIS debruça-se sobre os protocolos das camadas de rede (IP); da camada de ligação de dados e da camada física.

A camada de ligação de dados é composta por três sub-camadas:

- subcamada LLC que está em conformidade com a norma IEEE 802.2;
- subcamada de segurança de dados que suporta as necessidades básicas de privacidade, autorização e autenticação;
- subcamada MAC que suporta PDUs de comprimento variável.

A camada física compreende as subcamadas:

- subcamada Upstream/Downstream Transmission Convergence (TC)
- subcamada 'Physical Media Dependent' (PMD).

4 Protocolos na interface CMTS-NSI

As especificações da interface *Cable Modem Termination System - Network Side Interface* (CMTS-NSI) incluem um conjunto de especificações de interfaces que se destinam a facilitar a implementação de serviços de dados sobre HFC. Estas especificações definem os procedimentos e os protocolos de comunicações necessários para implementar transferência de dados entre a terminação do cabo CMTS e a rede de dados *core*:

- Descreve os protocolos de comunicações e as normas que serão aplicados.
- Especifica os parâmetros de comunicações de dados que devem ser comuns a todas as unidades.
- Descreve qualquer especificação de interface adicional para aplicações únicas de modo a permitir serviços de dados sobre cabo.

O objectivo do serviço é o transporte transparente de pacotes de protocolo IP entre a rede de dados, no seu interface CMTS-NSI e o utilizador, com o interface CMCI. Um esquema simplificado da rede pode ser observado na figura Figura 6.

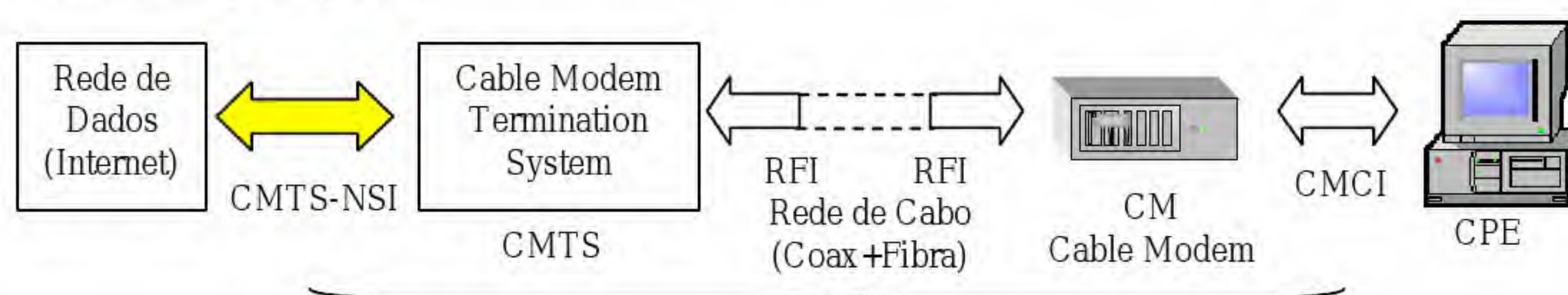


Figura 6 - Tráfego IP transparente

Na interface CMTS-NSI são especificados protocolos abertos, com preferência por normas já existentes, bem conhecidas e aceites.

Várias combinações de camadas físicas e de dados foram definidas para transportar tráfego IP nesta interface, tendo como pressuposto a existência do protocolo IP na camada de rede, isto é, todas as camadas de dados e físicas devem suportar e ser transparentes aos datagramas IP de acordo com os standards especificados:

- ATM sobre STS-3c (STM1)
- ATM sobre DS3 (E3)
- FDDI
- 802.3 sobre 10BASE-T e 100BASE-T
- Ethernet sobre 10BASE-T e 100BASE-T

Veremos em seguida como foram definidas algumas destas interfaces.

4.1 IP sobre ATM

Na camada de rede deve ser utilizado IP de acordo com IETF RFC 1577. O interface na camada AAL deve cumprir com IETF RFC 1577 e ATM UNI 3.1. Na camada física são implementadas duas camadas físicas, definidas em função da infra-estrutura existente. A implementação das camadas físicas STS-3c e DS3 (STM1 e E3 na Europa) deverá ser de acordo com ATM UNI 3.1.

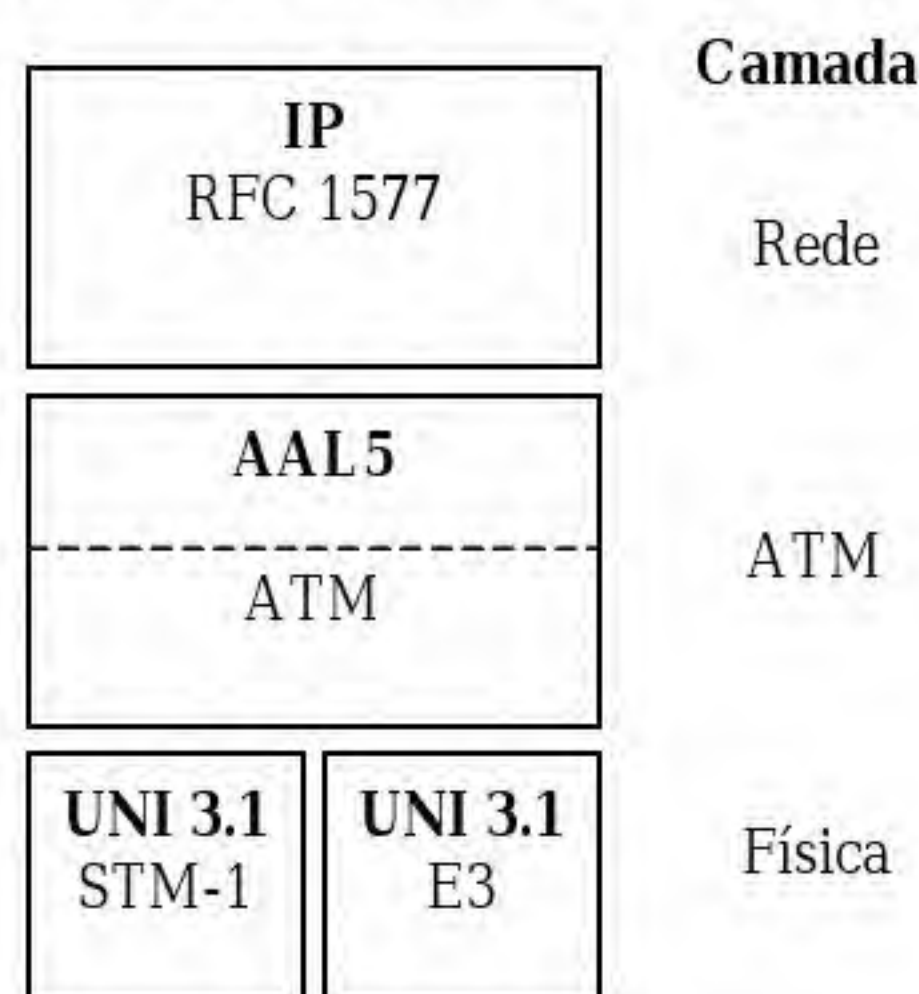


Figura 7 - Pilha de protocolos de IP sobre ATM

4.2 IP sobre IEEE 802.3

O IP deverá ser utilizado na camada de rede de acordo com IETF RFC 1042. A resolução de endereços deverá cumprir com IETF RFC 826. A interface da subcamada LLC 802.2 deverá estar de acordo com ISO/IEC 8802-2 1994. O interface da subcamada MAC 802.3 deverá estar de acordo com ISO/IEC 8802-3 1995. O CMTS deverá permitir MAC Bridging de acordo com ISO/IEC 10038 1993.

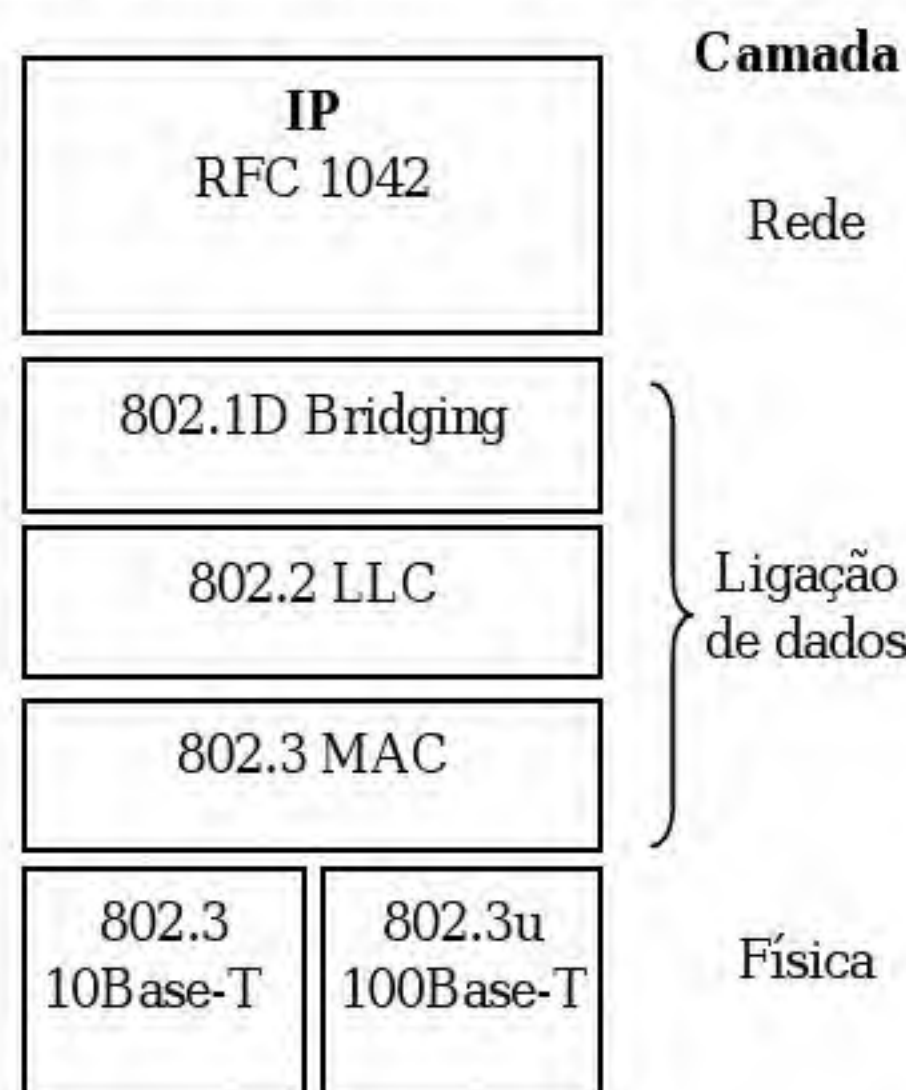


Figura 8 - Pilha de protocolos de IP sobre IEEE 802.3

4.3 IP sobre Ethernet

Características básicas:

- O IP deverá ser utilizado na camada de rede de acordo com IETF RFC 894.
- A resolução de endereços deverá cumprir com IETF RFC 826.
- A interface da camada de ligação de dados deverá estar de acordo com DIX Ethernet Versão 2.0.
- Deverão ser utilizados 48 bits de endereço.
- As interfaces para a camada física 10BASE-T deverão estar em conformidade com ISO/IEC 8802-3 1995, e a 100BASE-T de acordo com IEEE 802.3u 1995.

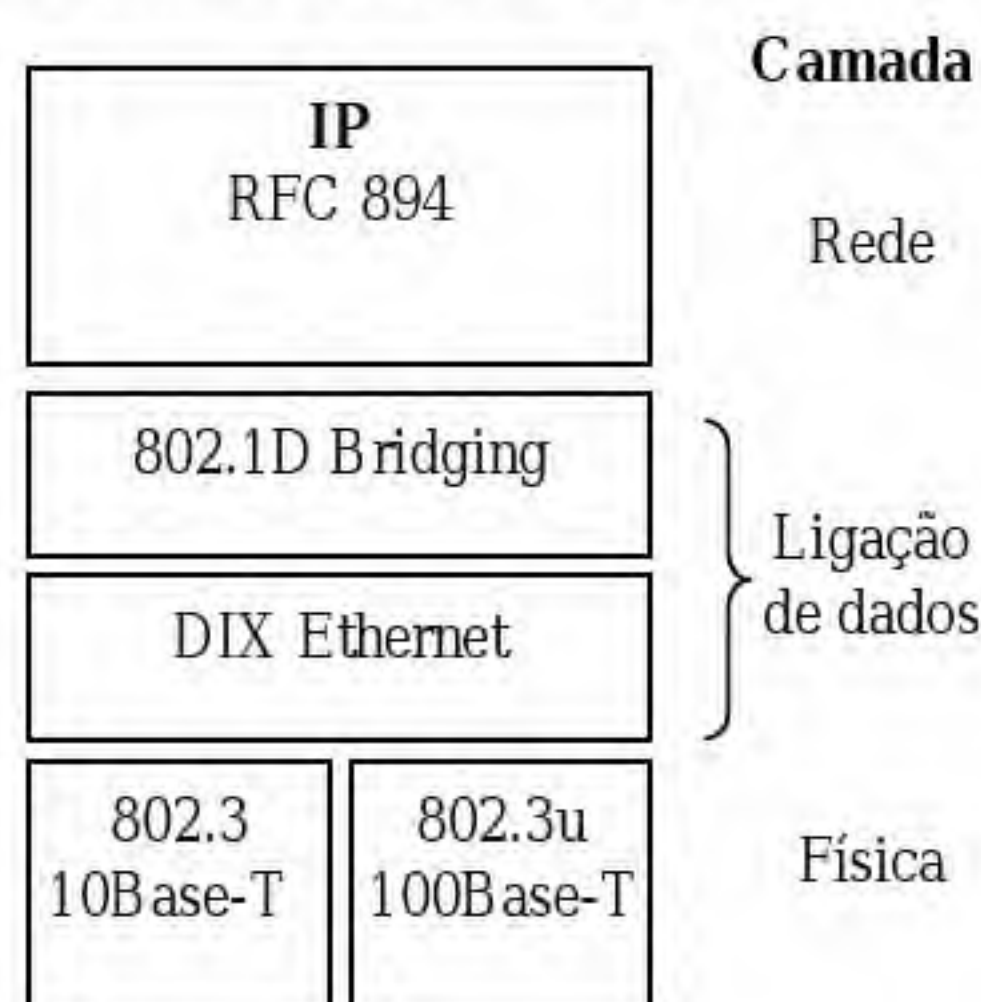


Figura 9 - Pilha de protocolos de IP sobre Ethernet

5 Protocolos na interface CMCI

São definidas nesta secção as especificações do Cable Modem na interface com o equipamento terminal (CPE). O termo usado para descrever esta interface é '*Cable Modem to CPE Interface*' (CMCI).

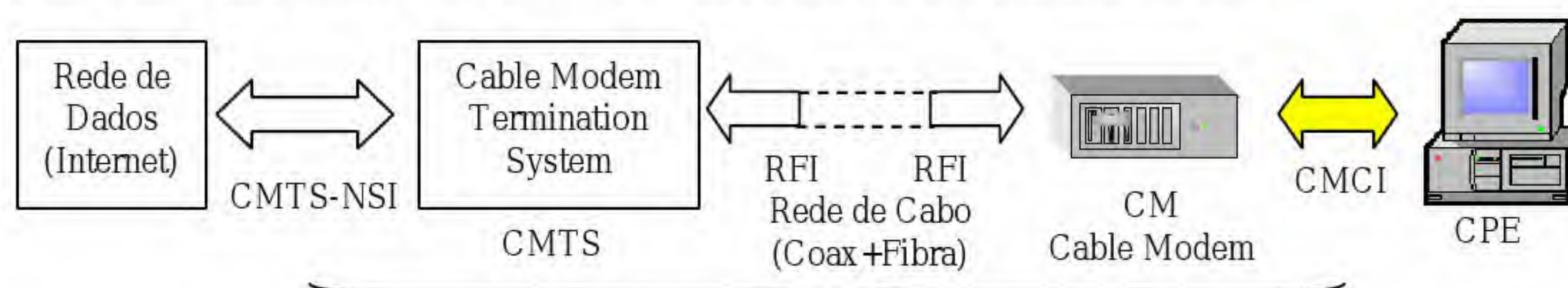


Figura 10 - Tráfego IP transparente

Apresentam-se em seguida as especificações de algumas interfaces designadas para facilitar a implementação de dados sobre HFC, desta vez do lado do cliente entre o computador do cliente e o Cable Modem (CM). São definidas as normas de comunicação aplicadas e os protocolos necessários para implementar a interface com o CM.

O cliente deverá ter um computador com interface de rede Ethernet 10Base-T ou USB (Universal Serial Bus) e um software de comunicações TCP/IP capaz de suportar DHCP/BOOTP, endereçamento SNAP e multicast.

No caso de ser Ethernet, o CMCI deve suportar IEEE 802.3 e DIX Ethernet e a pilha de protocolos será de acordo com a figura seguinte.

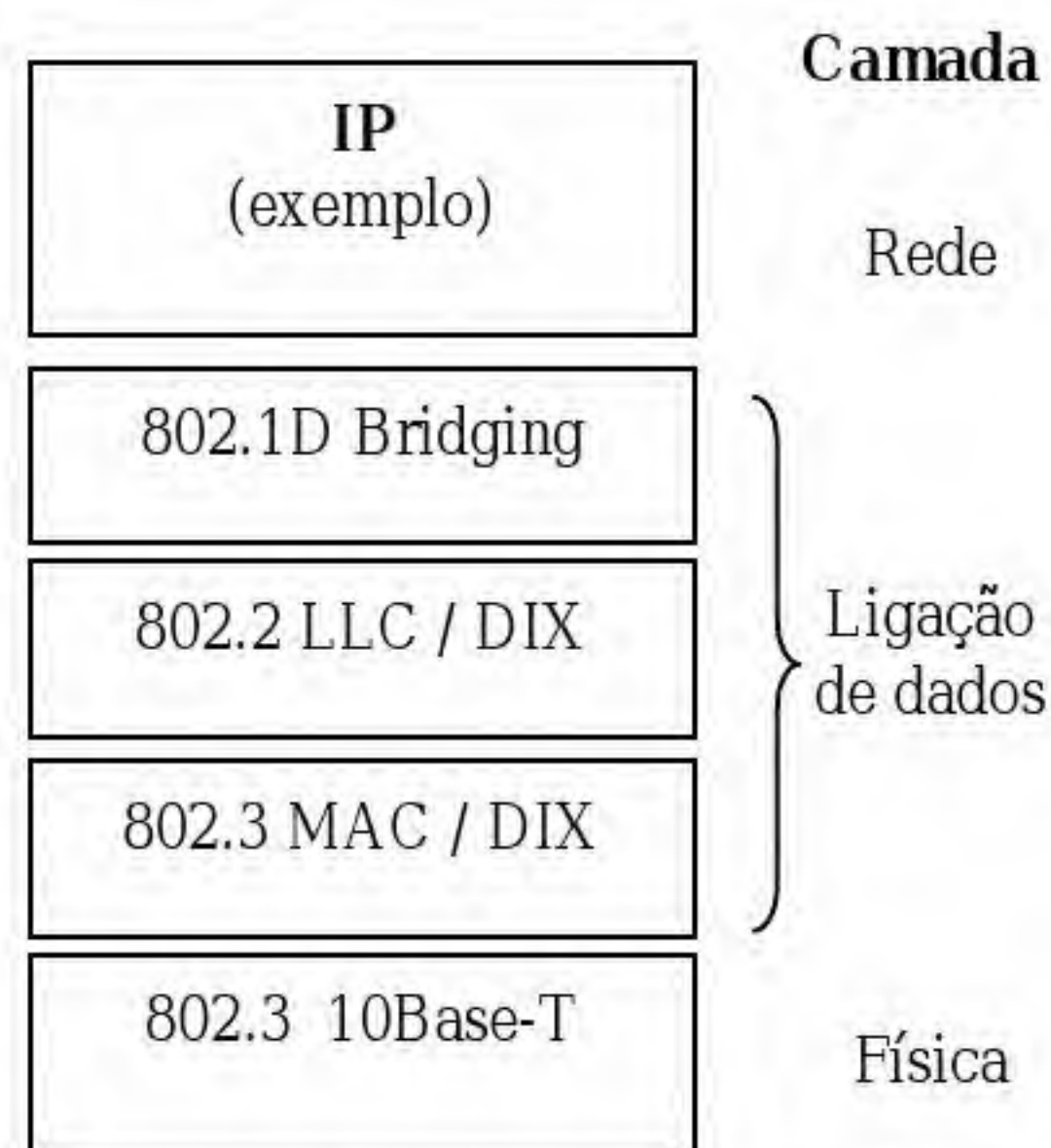


Figura 11 - Pilha de protocolos CMCI Ethernet

No caso de ter uma interface USB esta fornece diversos atributos de particular interesse para o CM, nomeadamente:

- Plug-in de novos periféricos sem necessidade de ferramentas especiais
- Identificação automática e funções de configuração de software, que simplificam o processo de instalação.
- Ritmos de transferência entre o periférico e o CPE de vários Mbps.

Ambas as tramas das camadas MAC IEEE 802.3 e DIX Ethernet, devem passar transparentemente através do CMCI. A pilha de protocolos deverá ser de acordo com a figura seguinte:

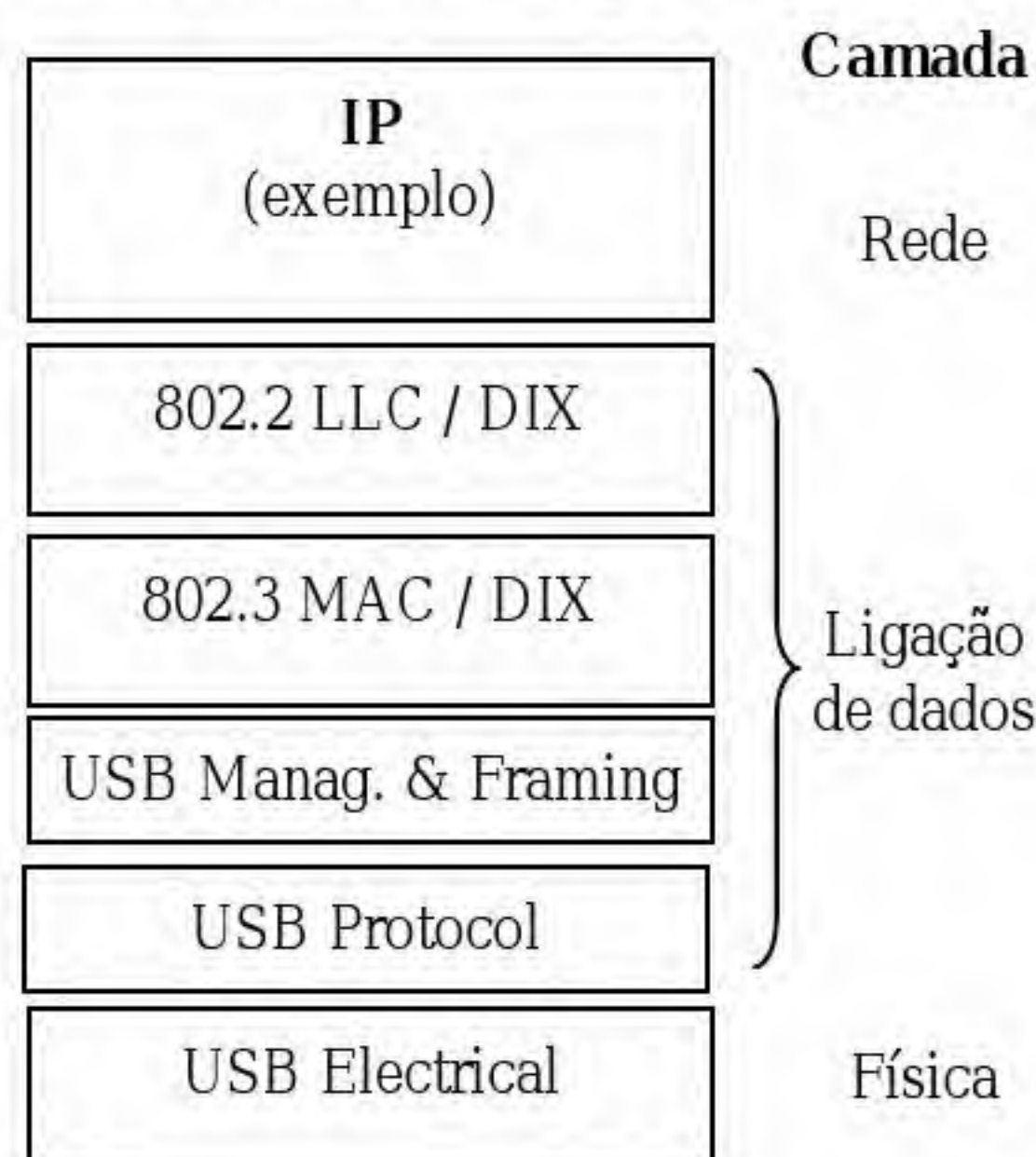


Figura 12 - Pilha de protocolos CMCI USB

A Figura 13 mostra a pilha de protocolos extremo a extremo entre o CMTS e o CPE, utilizando um CM USB.

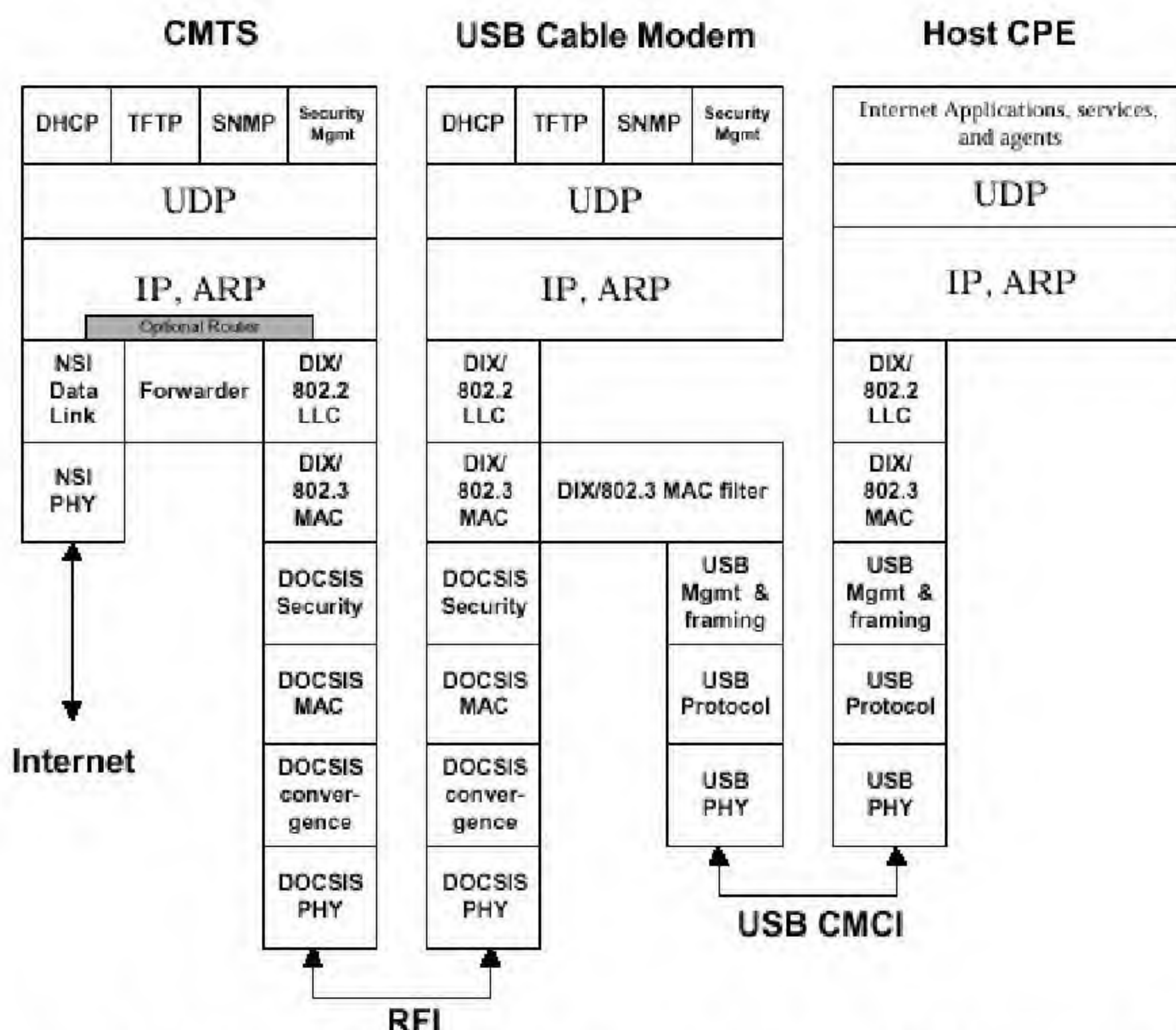


Figura 13 - Pilha de protocolos em HFC, caso de CPE com USB

O CM USB tem de ter dois endereços MAC de 48-bits. Os primeiros 48 bits de endereço da camada MAC devem ser associados com o redireccionamento das tramas para o Host CPE através da 802.3/Dix Filter, onde o Host CPE interpreta este endereço MAC como se se tratasse de uma carta Ethernet. O segundo endereço MAC de 48-bits deve ser associado com o CM sendo um Host IP/LLC para funções de Gestão do CM.

6 Interface de retorno Via Linha Telefónica

Quando não existe retorno pela rede cabo poderá usar-se retorno pela linha telefónica (PSTN). O sistema consiste nos seguintes elementos:

- CMTS;
- Rede de cabo;
- Cable Modem (CM);
- Rede Telefónica (PSTN)
- Telephone Remote Access Concentrator (TRAC).

A Figura 14 mostra um CM com modem telefónico incorporado mas este poderá ser independente do CM.

O CMTS e o TRAC podem estar juntos e localizados no Headend, e são denominados '*Telephone Return Termination System*' (TRTS). Em alternativa o TRAC poderá ser colocado numa localização geográfica diferente e estar ligado ao Headend.

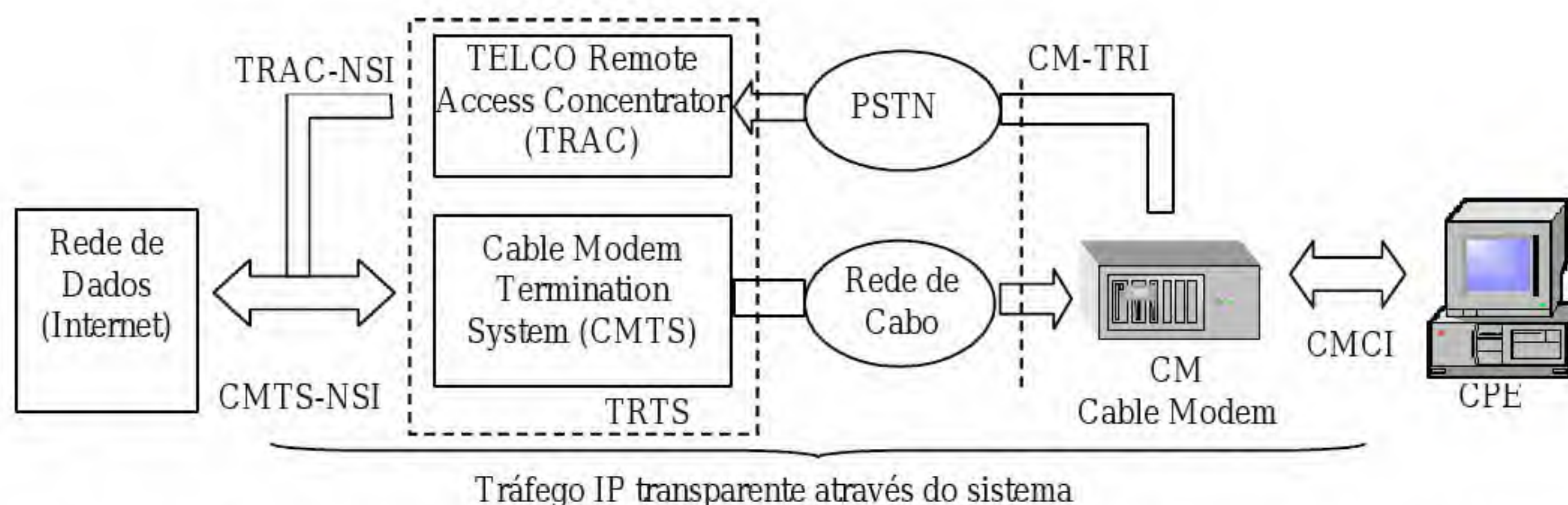


Figura 14 - Diagrama de blocos de Sistema com Retorno Telefónico

Vejamos então como se processa a comunicação neste caso:

- Um datagrama IP da Internet, destinado para o CPE, entra no CMTS através do CMTS-NSI, o CMTS codifica o datagrama IP de acordo com as especificações da interface RF e transmite-o *downstream*.
- Um CM reconhecendo que uma determinada trama tem o endereço do CPE que lhe está agregado, descodifica a trama e passa-o ao CPE através do CMCI.
- O CPE responde à trama, esta resposta entra no CM via CMCI, faz o encapsulamento do datagrama IP de resposta numa trama 'Point-to-Point Protocol' (PPP), e transmite-o para o TRAC através da PSTN. O TRAC descodifica o datagrama IP e redirecciona-o para o seu destino através do TRAC-NSI.

Existem outras possibilidades de caminhos de retorno, estes podem incluir negociações PPP entre o CM e o TRAC bem como caminho de gestão através de uma consola CMTS usando SNMP entre o TRAC e o CM.

7 Protocolos na rede de cabo

Serão agora abordados os protocolos de comunicação usados na transmissão de dados sobre cabo. O protocolo DOCSIS define as três camadas mais baixas da pilha de protocolos, a camada de rede (IP), a camada de ligação de dados (MAC) e a camada física. As várias camadas da pilha de protocolos do CM e do CMTS podem ser observadas na Figura 15.

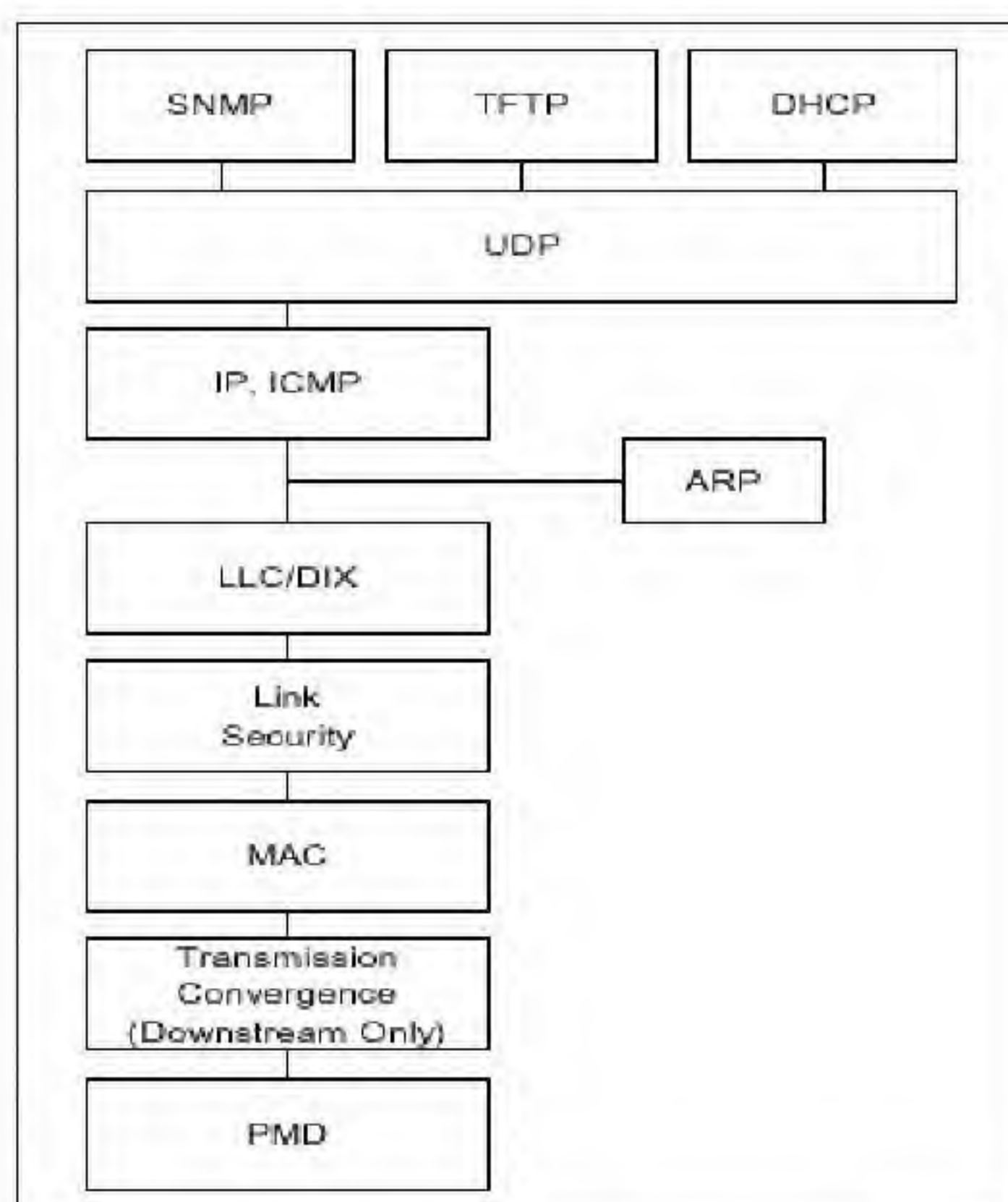


Figura 15 - Pilha de protocolos no cabo

Verifica-se na figura anterior que a camada de Rede usa como já se disse o protocolo IP, actualmente o IPv4 e deverá fazer a migração para o IPv6.

A camada Data Link Layer é dividida em três subcamadas:

- Subcamada Logical Link Layer (Responsável pela resolução de endereços)
- Subcamada Link-Security (Responsável por implementar segurança adicional)
- Subcamada Media Access Control (MAC) (Responsável pelo acesso ao meio no canal upstream e pela recepção das tramas downstream)

A camada física compreende duas subcamadas:

- Subcamada 'Downstream Transmission Convergence' (TC) (só no sentido descendente)
- Subcamada 'Physical Media Dependent' (PMD).

O transporte de dados no CMTS pode ser efectuado na camada 2 através de *Transparent Bridging* ou na camada 3 através de routing ou IP switching como mostra na figura abaixo. No CM a transferência de dados é efectuada na camada de ligação de dados por *transparent bridging*.

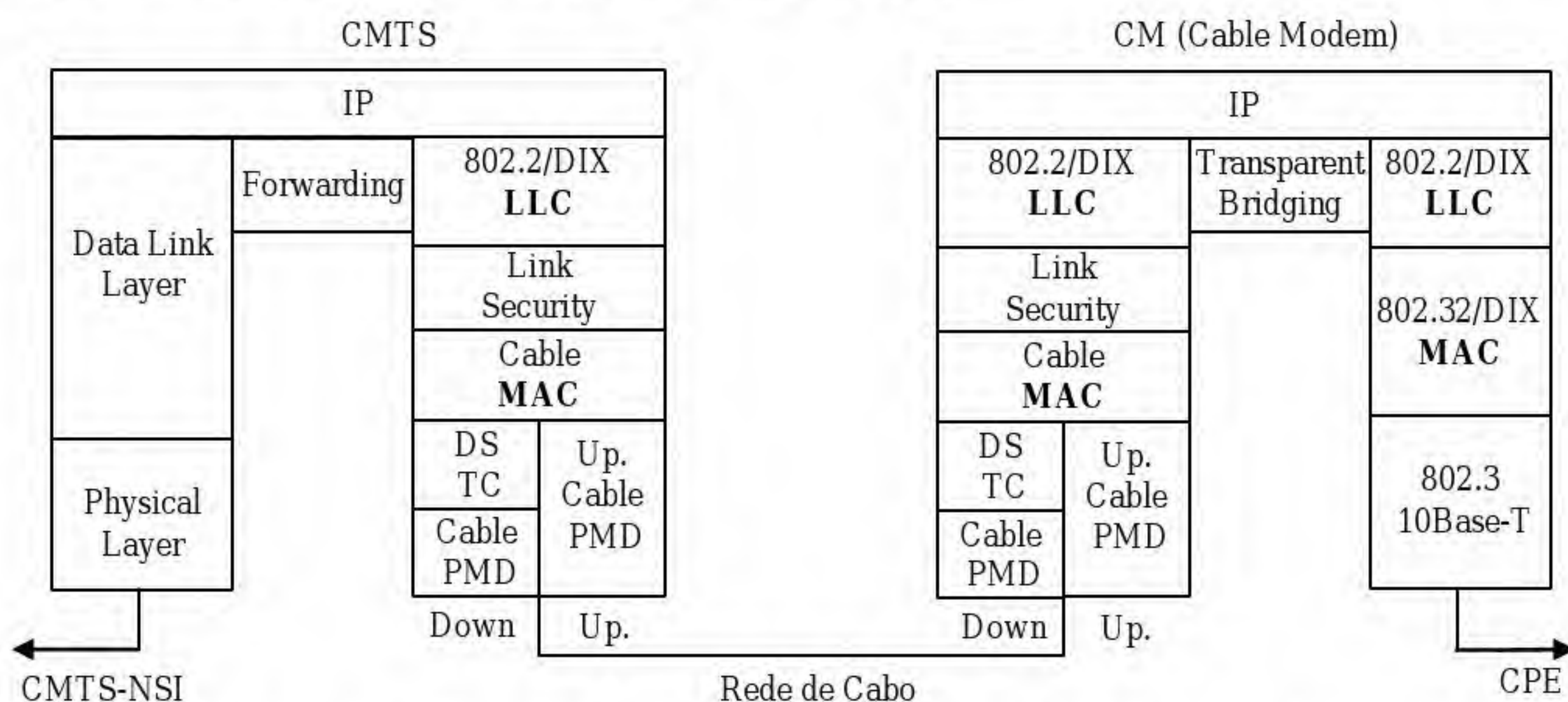


Figura 16 - Transporte de dados através de CM e CMTS

A principal funcionalidade de um sistema de modem por cabo é a de transporte transparente de pacotes IP entre o utilizador e a cabeça da rede (*Headend*). Para além do tráfego do utilizador, outros pacotes de administração são também transportadas, como sejam pacotes de protocolo DHCP e outros de gestão da rede IP ao nível da camada de rede.

Tanto o CM como o CMTS funcionam ao nível de reencaminhador de tramas ou de ponte transparente (*bridging*). Assim sendo, para o reencaminhamento de tramas, têm que ser respeitadas as linhas principais do protocolo 802.1d, nomeadamente:

- Uma trama não pode ser repetida,
- Tramas que não conseguirem ser entregues a tempo devem ser descartadas,
- As tramas devem ser entregues pela mesma ordem com que chegam.

O funcionamento de reencaminhamento do CM segue, assim como o CMTS, as linhas principais do 802.1d, para o encaminhamento em ambas as direcções, *upstream* e *downstream*. Para além destas regras, outras específicas devem ser cumpridas para o reencaminhamento de tramas entre a rede de cabo e a rede *ethernet*, ou seja, no CM:

- Tramas para endereços desconhecidos não devem ser reencaminhadas entre a interface de cabo e a de rede.
- Tramas de *broadcast* devem ser reencaminhadas, excepto no caso da fonte das mesmas estar dentro da rede ethernet do utilizador (CPE).

- O reencaminhamento das tramas *multicast* é controlado por um conjunto de políticas de filtragem de reencaminhamento, assim como por um algoritmo de controlo de *multicast*, só sendo permitido o seu reencaminhamento no caso de ambos os sistemas de controlo o permitirem.

Do mesmo modo o reencaminhamento das tramas no sentido inverso, da rede Ethernet para a rede de cabo, é controlado por um conjunto de regras entre as quais:

- Tramas para destinos de endereços desconhecidos devem ser enviadas da interface Ethernet para a interface de cabo.
- Tramas de *broadcast* devem ser enviadas para a rede de cabo.
- Tramas de *multicast* devem ser reencaminhadas para a rede de cabo de acordo com regras de filtragem estabelecidas pelo operador de cabo.
- Tramas com endereços de origem diferentes dos estabelecidos pelo operador ou aprendidos pelo CM como pertencentes ao utilizador, não devem ser reencaminhados.
- Se um CM para um utilizador singular aprender o endereço MAC do utilizador, este não poderá reencaminhar tramas de uma segunda fonte.

Quando activado, o CM vai adquirir o endereço MAC do utilizador, quer por meio de *provisioning* ou por meio de aprendizagem. Será adquirido um número de endereços equivalente ao número suportados pelo serviço, para uma ou mais máquinas. O número de endereços terá que ser superior a 1. Para a alteração dos endereços, deverá ser feito um *reset* ao CM, devendo o valor do mesmo ser guardado num endereço de memória não volátil.

8 Camada Física

Existem diferenças no espectro a utilizar nos diversos pontos do mundo, como tal foram incluídas duas opções para a camada física. Nos EUA os canais downstream são de 6 MHz e a transmissão Upstream é na banda de 5 aos 42 MHz. Na Europa é baseada num canal downstream de 8 MHz e a transmissão Upstream é dos 5 aos 65 MHz.

O sistema deverá ser capaz de operar com pacotes de 1500 octetos, com uma taxa de pacotes perdidos inferior a um por cento, e ser capaz de pelo menos transmitir 100 pacotes por segundo.

O nível de potência do sinal em Downstream CMTS 64QAM com canais de 6-MHz é apontado preferencialmente entre -10 dBc a -6 dBc relativo ao nível de carrier de vídeo analógico. O nível de potência do sinal do CM para o *upstream* é variável em função da distância a que se encontra o CM do CMTS, mas será o mais baixo possível, mas de modo a garantir a necessária margem acima do nível de ruído e das interferências.

8.1 Downstream

No sentido descendente, a camada física compreende duas subcamadas: subcamada 'Downstream Transmission Convergence' e subcamada 'Physical Media Dependent'(PMD).

8.1.1 Subcamada 'Physical Media Dependent'(PMD)

O modulação utilizada pode ser 64 QAM ou 256 QAM, com ritmos de transmissão aproximados de 5 Msymbol/s, a que correspondem os ritmos de 30 Mbit/s e 40 Mbit/s, respectivamente. A portadora vinda do CMTS é variável de 91 MHz a 857 MHz. Na tabela seguinte apresentam-se as principais características da camada PMD downstream na interface CMTS.

Tabela 2 - Parâmetros da PMD downstream

Parâmetro	Valor
Center Frequency (fc)	91 - 857 MHz (± 30 kHz)
Level Adjustable over the range	50 to 61 dBmV
Modulation Type	64QAM and 256QAM
Symbol Rate 64Q AM 256 QAM	5.056941 Msym/sec 5.360537 Msym/sec
Nominal Channel Spacing	6 MHz (Europe: 8 MHz)

8.1.2 Subcamada 'Downstream Transmission Convergence'

A subcamada *Downstream Transmission Convergence*, que existe apenas para Downstream, fornece serviços adicionais como por exemplo vídeo digital, através de pacotes MPEG de 188-bytes. Estes pacotes MPEG consistem em 4 octetos de 'MPEG header' 1 octeto de 'Pointer-field' (não existente em todos os pacotes) e 184 octetos de dados (*payload*).



Figura 17 - Formato de Pacote MPEG

Uma trama MAC pode começar em qualquer lugar dentro de um pacote MPEG, ou várias tramas MAC podem existir dentro de um mesmo pacote MPEG, quer concatenados uns a seguir aos outro quer separados por uma sequência de octetos de *stuffing*. O campo "Pointer field" é o 5º octeto de um pacote MPEG sempre que o PUSI está a '1' no cabeçalho, e contém o número de octetos a seguir ao 'pointer field' que o decodificador CM deve saltar neste pacote até encontrar o início de uma trama MAC. Todos os dados devem ser transportados em pacotes MPEG-2 com o campo PID do cabeçalho a 0x1FFE.

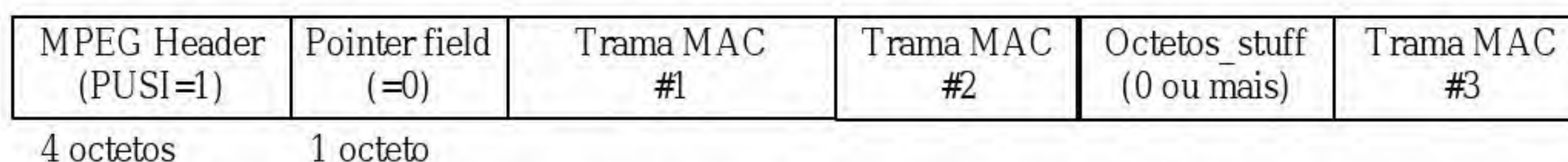


Figura 18 - Formato de Pacote MPEG com várias tramas MAC

8.2 Upstream

No protocolo DOCSIS 2.0 existem dois formatos de modulação de sinal para o upstream. Um deles é um sistema híbrido FDMA/TDMA, onde cada trama de informação é enviada num determinado intervalo de tempo (slot) e numa determinada banda de frequência. Este método será designado simplesmente por TDMA. O outro método acrescenta ao anterior uma modulação S-CDMA, podendo assim haverem vários CM's a transmitir no mesmo slot temporal e na mesma frequência, uma vez que o sinal vai espalhado na frequência, codificado por uma palavra de código (*codeword*), usando códigos ortogonais. O CM e o CMTS têm que funcionar no mesmo formato, sendo o formato estabelecido pelo CMTS no início e transmitida a informação ao CM por meio de mensagens MAC de controlo.

O CM e o CMTS em modo TDMA funcionam com ritmos de modulação de 160, 320, 640, 1280, 2560 e 5120 Ksymbol/s. No modo S-CDMA aos ritmos de modulação são 1280, 2560 e 5120 Ksym/s

Como foi dito atrás existem vários tipos de formatos de modulação usados no DOCSIS 2.0, sendo mostrada a seguir a lista dos requisitos que cada forma de transmissão tem ou pode suportar para o modulador e desmodulador upstream :

- Tem que suportar o formato de modulação QPSK e 16QAM diferencial para transmissão TDMA

- Tem que suportar modulações QPSK , 8QAM, 16QAM, 32QAM e 64QAM para canais TDMA e S-CDMA
- Tem que suportar modulações codificadas QPSK, 8QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM e 128QAM TCM para transmissão S-CDMA

O nível físico upstream é responsável pela transmissão de tramas, também chamados *burst*, do CM para o CMTS. Estas tramas são um conjunto de símbolos constituídos por um preâmbulo a identificar o início do pacote, e um conjunto de dados. No início da transmissão das tramas existe um crescendo de energia no início e um decréscimo de energia no fim. No caso de serem enviados vários blocos seguidos esta transição não é necessária. Pode acontecer estarem diversos CM's a transmitir e os crescendos e decréscimos de energia serem sobrepostos. Na banda upstream haverá um modulador no CM e haverá vários desmoduladores no CMTS, no Headend, um para cada uma das bandas de frequência.

Na transmissão em modo TDMA, o centro do último símbolo de um pacote deverá ter uma distância mínima de 5 símbolos, para o centro do primeiro símbolo do próximo pacote enviado por outro CM (tempo de guarda).

Desde a entrada dos dados na camada física, fornecidos pela camada MAC, até estes serem enviados pelo cabo em sinais electromagnético, passam por um conjunto de etapas de processamento de sinal, tal como pode ser observado na Figura 19.

Para a transmissão em modo TDMA, o fluxo de dados é primeiro partido em bocados de informação, sendo de seguida calculado para cada um dos blocos o respectivo campo FEC usando o algoritmo Reed-Solomon. Este processo é opcional, podendo ser desligado se necessário. De seguida é feito o entrelaçamento dos vários pacotes de modo a limitar os erros no caso da perda de um pacote por súbitos picos de ruído na linha de transmissão. Tratando-se de um canal de comunicação partilhado, os dados a transmitir são cifrados, mantendo assim a segurança do serviço. Após adicionar um preâmbulo no início do pacote, mapeia-se conjuntos de bits nos símbolos a modular e faz-se uma igualização do sinal e filtragem de modo a melhorar o espectro do sinal a modular e transmitir.

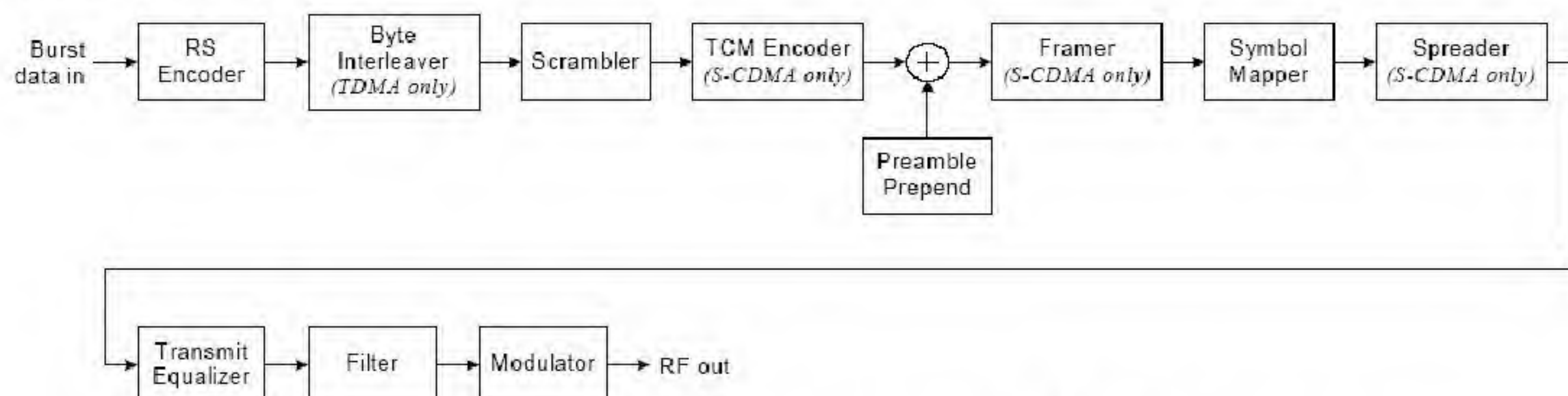


Figura 19 - Sequência de processamento de sinal upstream

Para a transmissão em modo S-CDMA o fluxo dos dados segue o mesmo caminho até o ponto da codificação, passando de seguida pelo codificador TCM (Trellis Coded Modulation), o qual é de utilização opcional. De seguida é adicionado o preâmbulo, como acima, os dados são preparados, e transformados em sinais electromagnéticos onde entre outras coisas, o sinal é multiplicado pelo código CDMA e enviados para o canal de comunicação.

Em termos de correcção de erros o CM tem que suportar código Reed-Solomon sobre GF (256) com $T = 1-16$. O valor de T é configurado pelo CMTS. A trama RC pode ser constituída por um pacote de dados com o seu respectivo campo FEC, ou ter tamanho superior à palavra suportada pelo algoritmo. Em ambos os modos, o tamanho mínimo de um pacote de informação de dados é de 16 bytes. No caso dos dados não serem suficientes, são adicionados zeros. Na figura 20 apresenta-se um exemplo de estrutura de dados em que a dimensão dos dados é maior que o limite suportado pelo código RS.

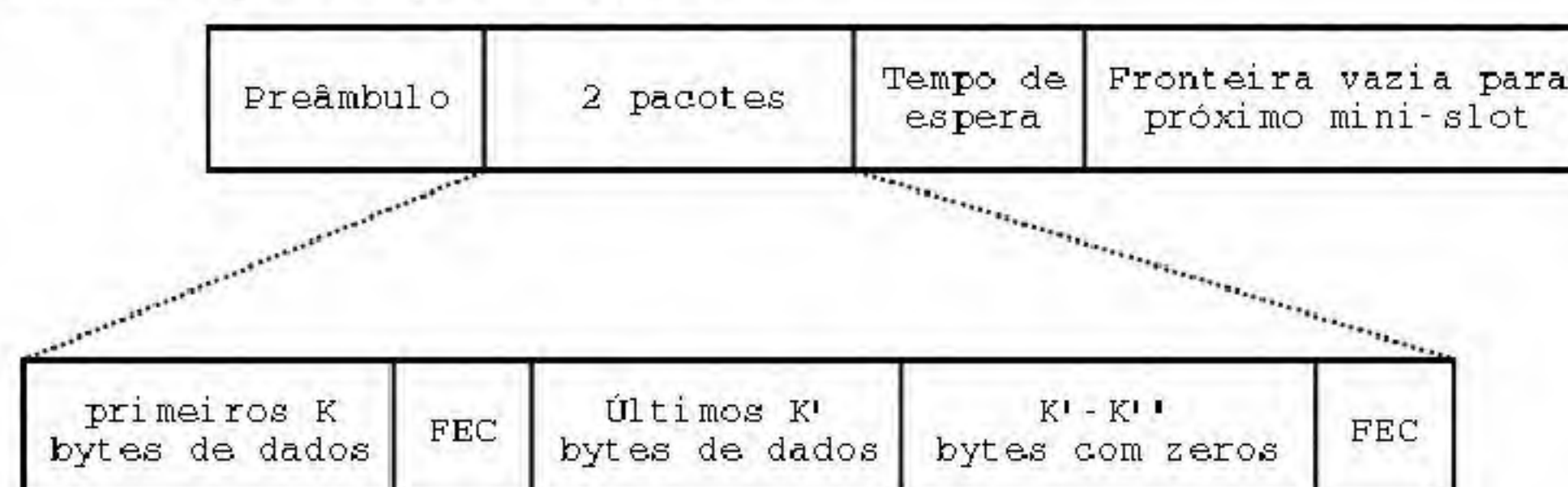


Figura 20 - Estrutura de trama de dados

O objectivo do entrelaçamento é de conseguir recuperar totalmente uma trama que se tenha perdido na transmissão. Este feito é conseguido não enviando uma trama de cada vez, mas partes de várias. Este entrelaçamento tem que ser executado na transmissão em modo TDMA Assim, o entrelaçamento consiste em dispor as várias tramas em linhas numa matriz, e depois enviar coluna a coluna. Pode-se dar o caso de termos o último bloco RS mais pequeno, sendo o funcionamento o mesmo, onde serão enviados colunas mais pequenas no fim. Tal funcionamento pode ser observado na Figura 21.

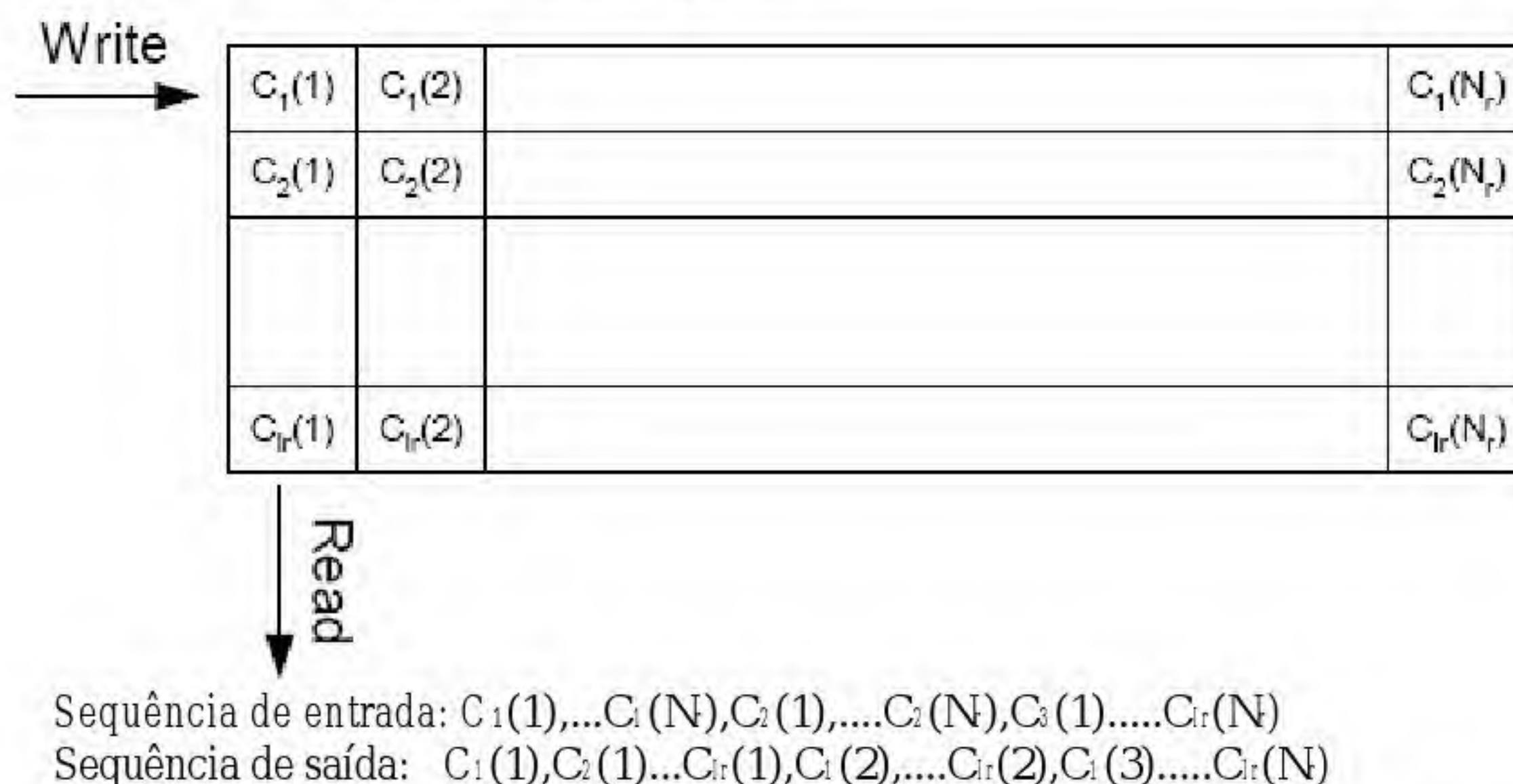


Figura 21 - Matriz de entrelaçamento (*byte interleaver*)

O canal upstream tem que suportar um encriptador de dados. Esta necessidade vem do facto do canal ser partilhado, havendo por isso a possibilidade de haver escutas não desejadas no canal. O diagrama de blocos do encriptador é representado na figura 22.

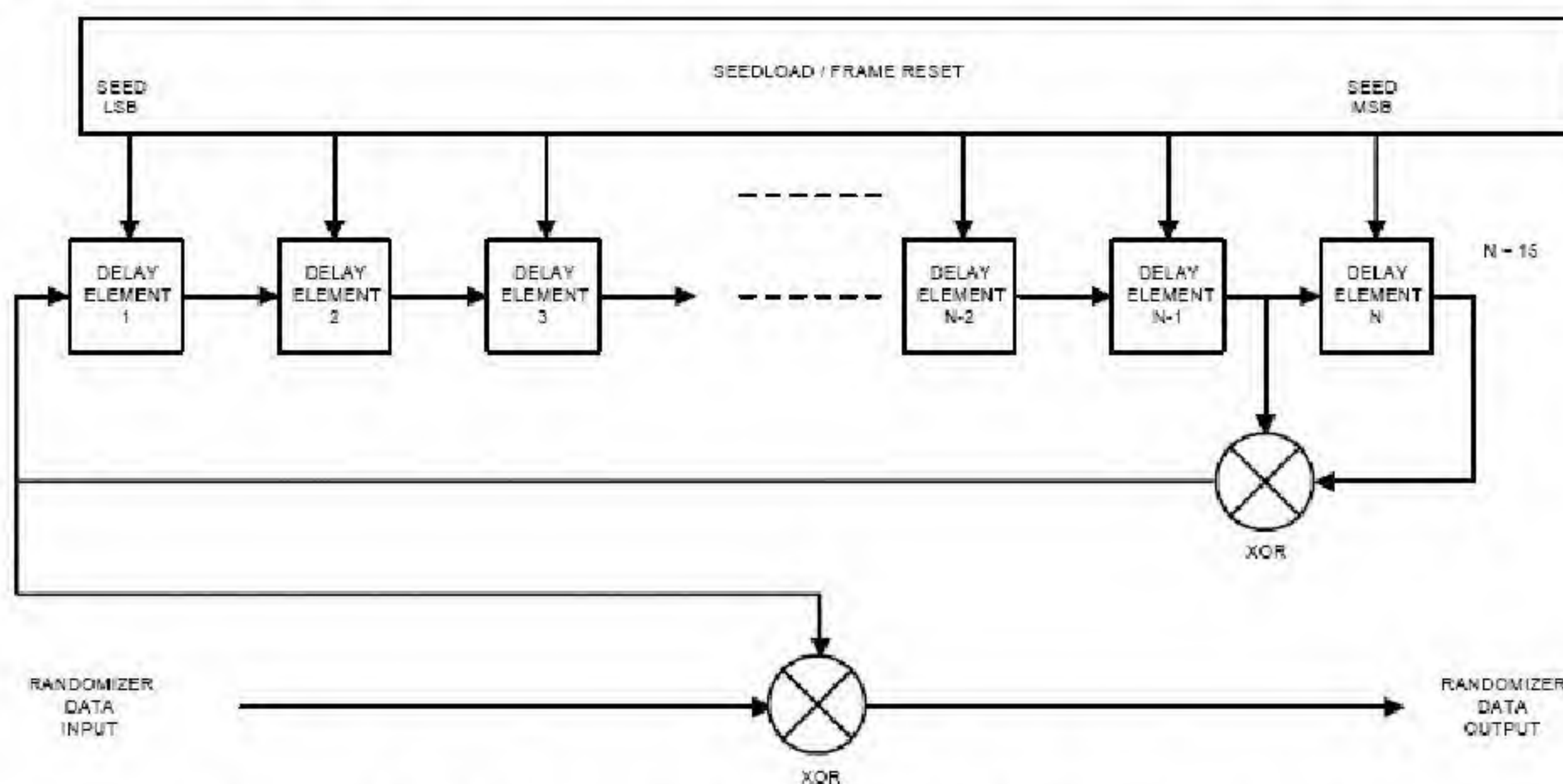


Figura 22 - Diagrama de blocos do encriptador

O preâmbulo é um conjunto de bits introduzidos no início para indicar o começo da trama de dados. O tamanho do mesmo é programável no início pelo CMTS, sendo que para o DOCSIS 2.0 este pode ter o tamanho 0, 2, 4, ..., 1536 bits, sendo obrigatório serem QPSK com dois factores de escala (QPSK0 e QPSK1). Para o DOCSIS 1.x, e uma vez que os equipamentos têm que manter a compatibilidade, o preâmbulo deve ter o tamanho de 0, 2, 4, ..., 1024 bits para QPSK e 0, 4, 8, ..., 1024 para 16 QAM.

O *framer* S-CDMA aplica-se aos vários pacotes de dados, códigos de base do S-CDMS e os tempos de modulação. Este também realiza entrelaçamento de modo a proteger contra picos de ruído na linha.

O *spreader* será responsável por fazer a multiplicação do sinal com os códigos. Isto torna possível enviar até 128 bits ao mesmo tempo no mesmo canal, usando para tal um conjunto de códigos CDMA ortogonais.

9 Camada MAC

As principais funcionalidades da camada MAC no protocolo DOCSIS 2.0 são:

- Atribuição de largura de banda, controlada pelo CMTS,
- Um *stream* de mini-slots na banda de *upstream*,
- Gestão eficiente de largura de banda por controlo do tamanho das tramas da camada MAC,
- Fornecimento de extensões para futuro suporte de ATM e outras PDU's,
- Suporte de Qualidade de Serviço onde se inclui:
- Suporte para garantia de largura de banda e de latência,
- Classificação de pacotes,
- Estabelecimento dinâmico de serviços.
- Fornecimento de extensões para segurança a nível da camada de rede,
- Suporte para uma grande variedade de larguras de banda fornecidas.
- Aceder a largura de banda sob controlo do CMTS

O CMTS tem que aceder a todos os canais de downstream e upstream, os CM's acedem a um canal lógico de upstream e um canal de downstream de cada vez. Para além disso, o CMTS tem que policiar as comunicações e descartar todos os pacotes MAC cujo endereço de origem não seja um endereço *unicast*. Os canais de upstream podem ter combinações DOCSIS 1.x e 2.0, sendo que um mesmo canal pode transportar os dois protocolos.

Um dos principais conceitos do funcionamento do protocolo MAC, é o fluxo de serviço. Cada um destes fluxos de serviço terá um ID que o identifica uma ligação unidireccional entre o CM e o CMTS. Para o sentido upstream, um fluxo de serviço pode ter um ou mais serviços associados cada um com o seu respectivo ID (SID - Service ID), sendo por este meio que o CMTS fornece uma determinada largura de banda no sentido utilizador-rede, com uma determinada qualidade de serviço. Cada CM pode ter um ou mais ID de fluxo de serviço (SFID - Service Flow ID), negociados ou no início do estabelecimento da ligação do CM ou no decorrer do funcionamento. Normalmente são estabelecidos dois SFID, um para o *upstream* e outro para o *downstream* de pacotes IP. Para além deste funcionamento, outros SFID podem ser pedidos, como por exemplo para serviços de banca constantes, como seja o VoIP. O ID do fluxo de serviço tem 32 bits, e um ID de serviço tem 14 bits

9.1 Mini-slots e canais lógicos upstream

Os mini-slots são intervalos de tempo do canal de comunicação, onde é transmitida a informação. Cada mini-slot tem informação quanto ao tipo de tráfego que pode conter, assim como o protocolo de modulação que pode ser usado no mesmo. São estes mini-slots que serão pedidos pelo CM ao CMTS para o envio de dados,

Para comunicação em modo TDMA, e no protocolo DOCSIS 1.x, os slots têm a dimensão de múltiplos de 6.25 μ s, podendo ser 2, 4, 8, 16, 32, 64 ou 128 vezes 6.25 μ s. Para o protocolo DOCSIS 2.0 os mini-slots tem a dimensão de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ou 128 vezes 6.25 μ s.

Cada mini-slot é etiquetado com o tipo de tráfego que pode ser transmitido durante o intervalo e o tipo de codificação da camada física que será empregue.

Na comunicação usando a modulação S-CDMA, não estamos presos a slots com tamanhos de potência 2 de 6.25 μ s. Os slots podem ter tamanhos diversos, sendo este estabelecido tendo em conta a capacidade de modulação e o tamanho dos códigos de espalhamento do CDMA.

Um canal lógico de upstream é um canal de transmissão, sendo que cada CM só pode funcionar com um único canal. Há 4 tipos distintos de canais lógicos de upstream:

- Upstream do DOCSIS 1.x que não suporta as características da modulação TDMA do DOCSIS 2.0,
- Upstream misto que suporta modulação TDMA do DOCSIS 1.x e 2.0,
- Upstream de modulação TDMA para o protocolo DOCSIS 2.0, que não suportam CM's DOCSIS 1.x,

- Upstream de modulação S-CDMA, que só suporta CM's a funcionar em modo S-CDMA.

Na tabela 3 exemplificam-se os parâmetros típicos da camada MAC upstream.

Tabela 3 - Exemplo de parâmetros do canal Upstream

Parâmetro	Valor de exemplo
Time tick	6.25 μ s
Minislot	25 μ s (4 Time ticks)
"	16 octetos (com QPSK)
Byte	4 símbolos (com QPSK)
Symbols/second	2 560 000
Mini-slots/second	40 000

9.2 Trama MAC

A figura 23 representa o formato genérico de uma trama MAC, constituída por 3 partes. A primeira, e antes da trama MAC em si, é o overhead da subcamada PMD para o upstream, e o cabeçalho MPEG para o downstream. A trama é constituída por um cabeçalho e opcionalmente por um conjunto de dados, a PDU. A existência ou não de dados será indicada no cabeçalho.

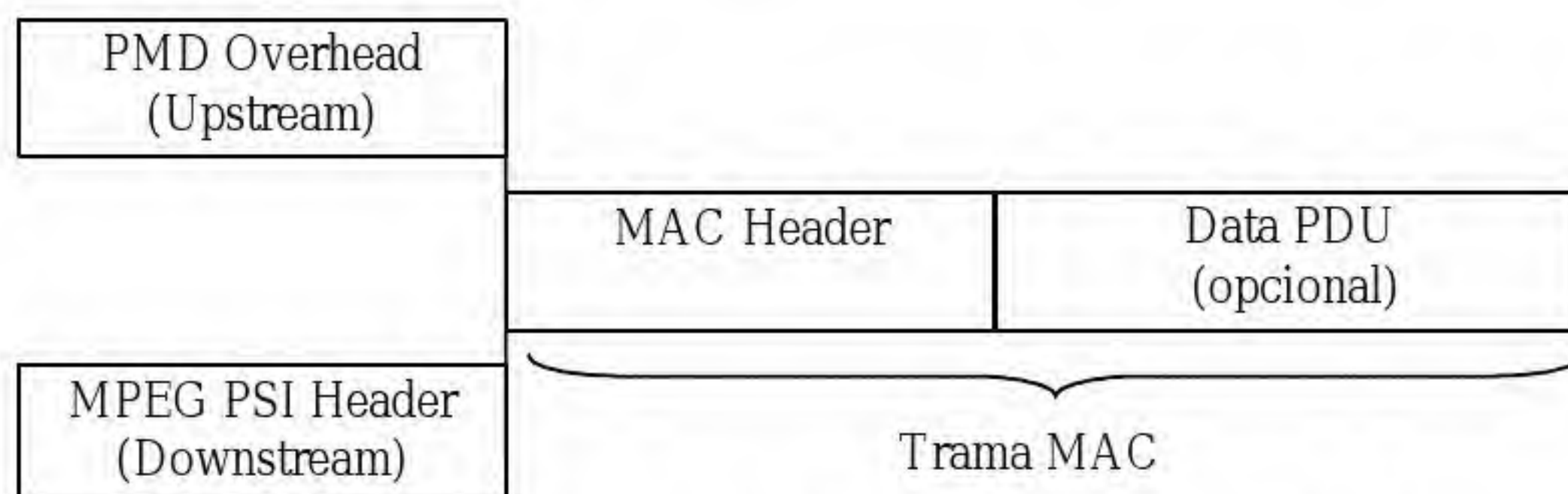


Figura 23 - Formato genérico de trama MAC

O transporte de tramas MAC pela camada física no upstream é realizado da maneira mostrada na figura 24.

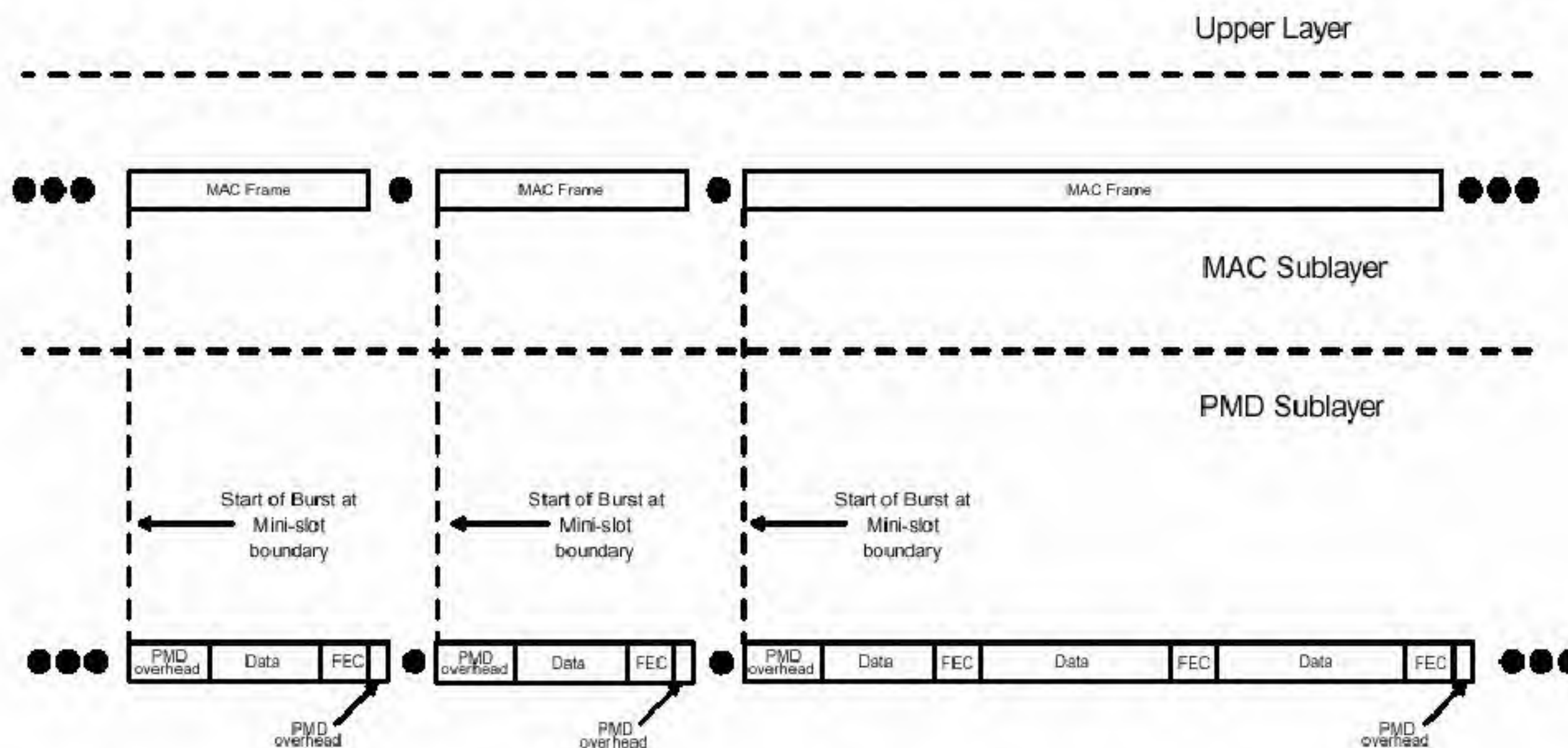


Figura 24 - Convergência MAC/PMD no canal upstream

Na figura 25 é apresentado o formato de um cabeçalho MAC, obrigatório em todos os CM e CMTS.

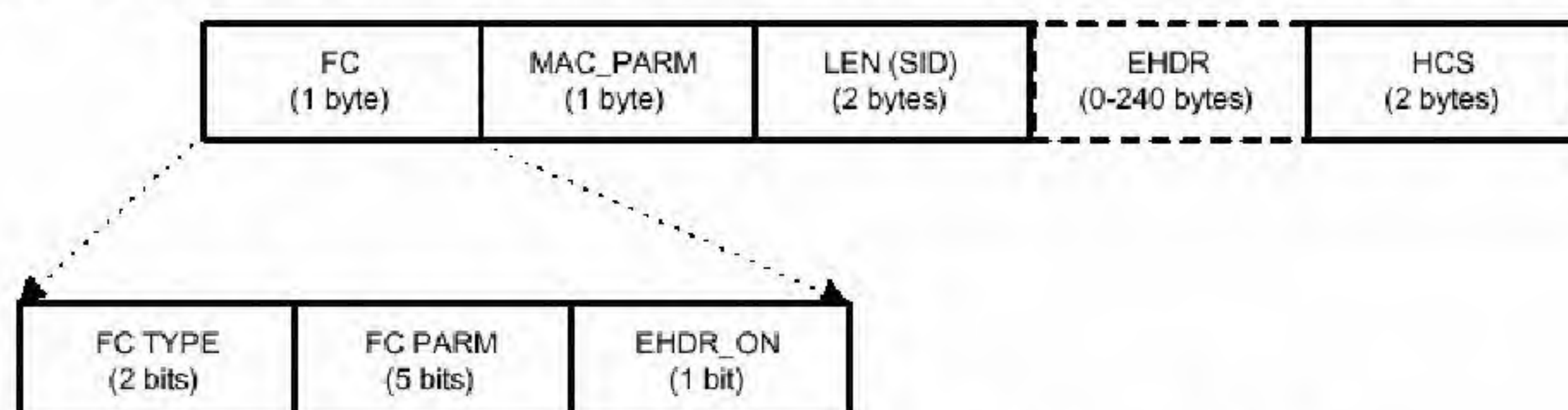


Figura 25 - Formato de cabeçalho MAC

O cabeçalho MAC é constituído por um primeiro campo FC que identifica o conteúdo do resto do cabeçalho MAC. Seguem-se 3 bytes de controlo MAC, um campo opcional para extensões futuras e um campo de correcção de erros do cabeçalho com 2 bytes de tamanho. Mais em detalhe, temos:

Trama de controlo (FC - Frame Control) - Identifica o tipo de cabeçalho MAC. Este é constituído por vários campos:

- FC Type - Identifica o tipo de trama MAC :
 - 00 - Cabeçalho MAC de um PDU de pacote de dados,
 - 01 - Cabeçalho MAC de uma PDU ATM,
 - 10 - Cabeçalho MAC para uma PDU reservada,
 - 11 - Cabeçalho específico MAC.
- FC Parm - bits com parâmetros. O uso destes depende do tipo de do campo FC Type.
- EHDR_ON - Quando a um, indica que o campo opcional EHDR está presente. Neste caso o campo MAC_PARM indica o tamanho deste campo.
- MAC_PARM - A utilização deste campo depende do campo FC. A utilização dele é a seguinte, pela ordem de prioridade :
 - Quando EHDR_ON está a um, indica o tamanho do campo opcional EHDR,
 - Quando existirem tramas concatenadas, este é usado como contador de modo a manter a ordem das mesmas,
 - Para pedidos, é usado para indicar o número de mini-slots requisitados.
- LEN (SID) - Tamanho da trama MAC. Este valor é obtido pela soma do campo de dados (PDU) e pelo campo EHDR caso este exista. No caso especial de se tratar de um cabeçalho MAC de pedido, o campo LEN indica o ID do serviço, uma vez que neste caso não existe campo de dados (PDU) na trama. Este parâmetro é muito sensível a erros, pois na eventualidade de um erro aqui, a camada MAC irá ler mais ou menos bits que deveria ler, perdendo o sincronismo das tramas.
- EHDR - Campo opcional.
- HCS - Detecção de erros do cabeçalho. Este é composto por um código CRC de 16 bits, calculado pelo algoritmo CRC16 definido na norma ITU-T X.25.

A camada MAC pode transportar vários tipos de PDU de camadas superiores. Entre elas temos tramas Ethernet, ATM e outras não especificadas para uso futuro. Na especificação do DOCSIS 2.0, apenas a trama Ethernet é permitida, embora todas as outras se encontrem especificadas.

A camada MAC tem que suportar uma PDU de tamanho variável com o formato Ethernet/IEEE 802.3. Este tem que estar contido numa única trama pelo que haverá apenas um cabeçalho MAC.

Os valores do cabeçalho MAC estão apresentados Figura 26, com atenção para o campo FC TYPE cujo valor é 00. Os parâmetros da PDU são os normais de uma trama IEEE 802.3 :

- DA - Endereço de destino com 48 bits,
- SA - Endereço da fonte com 48 bits,

- Type/Len - Identificador do tipo de trama ou informação sobre o tamanho dos dados [ISO8802-3]
- User Data - Dados do utilizador com um tamanho variável, atingindo um valor máximo de 1500 bytes.
- CRC - Detecção e correcção de erros do campo de dados, de acordo com o algoritmo definido na especificação Ethernet/[ISO8802-3].

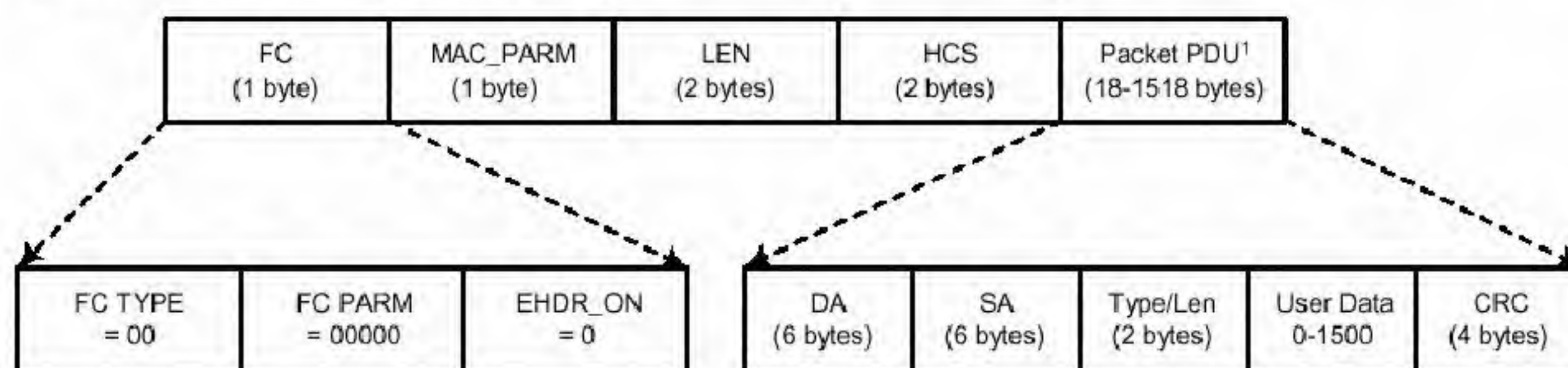


Figura 26 -Trama MAC para pacote Ethernet/802.3

Há vários cabeçalhos MAC que podem ser usados em casos muito específicos, tal como reajuste de potências de transmissão, reajuste de largura de banda disponível e fragmentação e concatenação de várias tramas MAC. Os vários tipos de cabeçalhos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Cabeçalhos específicos das tramas MAC

FC_PARM	Tipo de cabeçalho/trama
00000	Cabeçalho de temporização
00001	Cabeçalho MAC de gestão
00010	Cabeçalho de pedidos
00011	Cabeçalho de fragmentação
11100	Cabeçalho de concatenação

As tramas de temporização são utilizadas para a ajuste do tempo entre o CMTS e todos os CM's. No *downstream*, este cabeçalho MAC tem que ser usado para transportar o tempo de referência para toda a rede, para que todos os CM's se sincronizem. No *upstream*, este cabeçalho tem que ser usado como parte de mensagens de ajuste de potência e tempo. O formato do cabeçalho MAC pode ser observado na Figura 27.

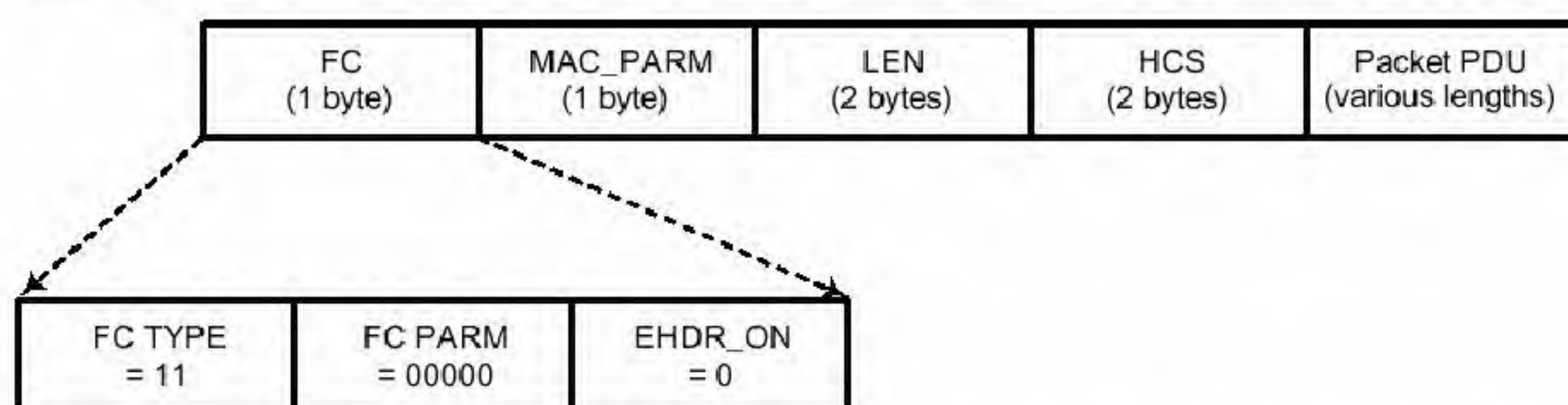


Figura 27 - Formato de cabeçalho MAC para trama de temporização

Os dados transportados na PDU são uma mensagem de sincronismo quando em *downstream*, e um pedido RNG no *upstream*. As tramas de gestão são usadas para todas mensagens de gestão da camada MAC. O formato das mesmas tem que ser o mostrado na Figura 28.

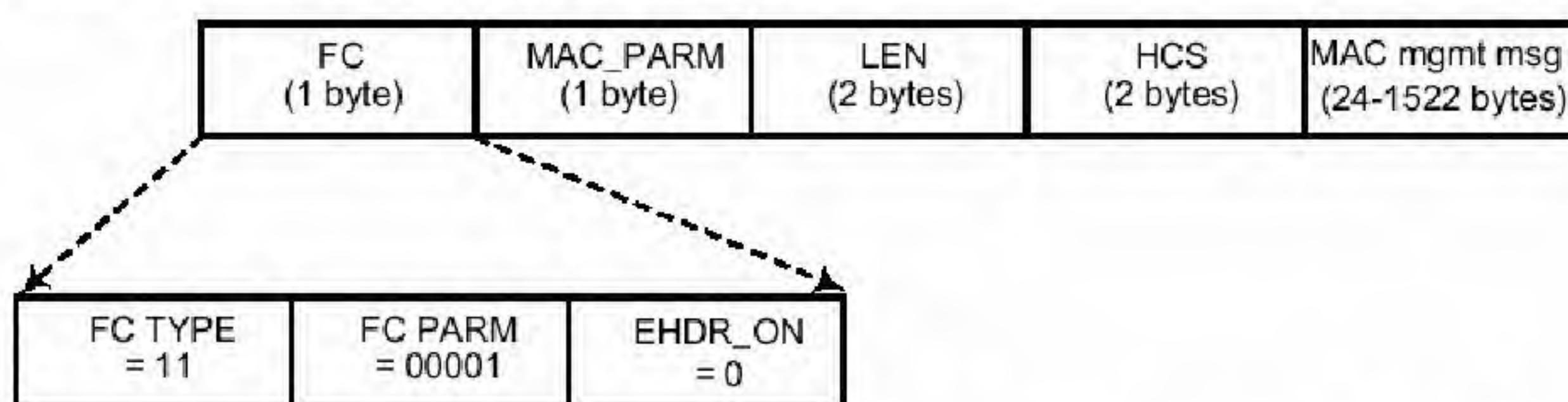


Figura 28 - Formato de cabeçalho MAC para tramas de gestão

As tramas MAC de pedidos são o meio utilizado pelos CMs para pedir atribuição de largura de banda para o *upstream*. O formato do cabeçalho está apresentado na Figura 29. Esta trama não contém dados, pelo que o campo LEN (tamanho dos dados) é neste cabeçalho usado como identificador do serviço (SID). O pedido de largura de banda é feito pedindo um determinado número de mini-slots, este valor vai no campo MAC_PARM. O número de mini-slots tem que ter em conta os dados a transmitir, assim como o overhead inserido pela camada física.

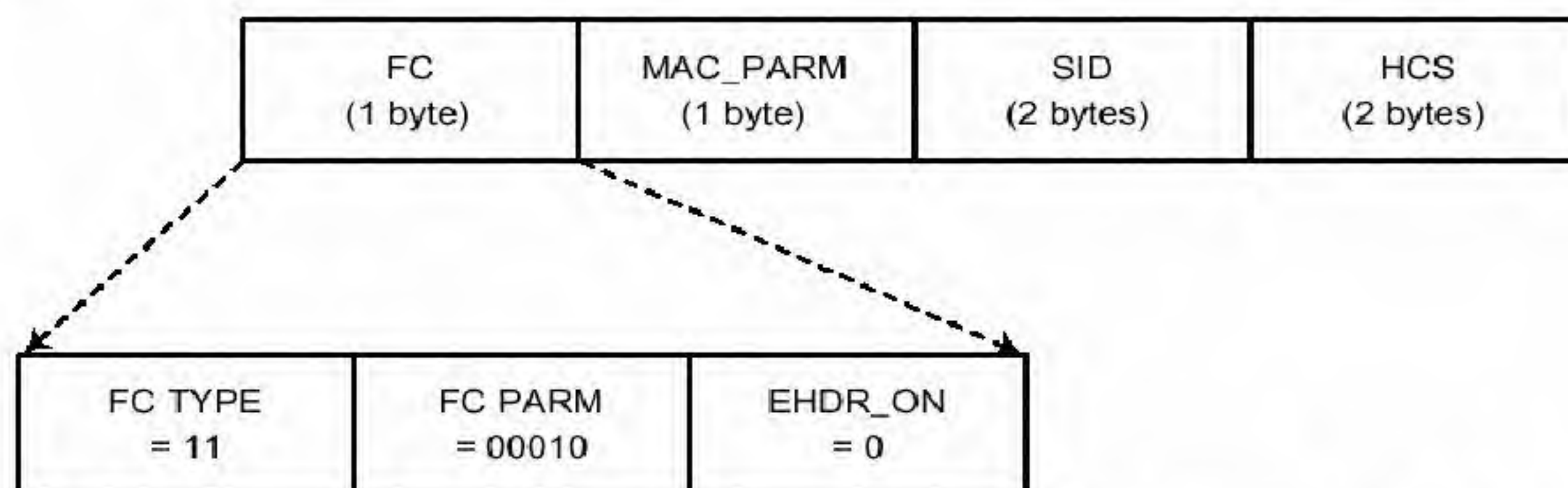


Figura 29 - Formato de cabeçalho MAC para tramas de pedidos

O cabeçalho MAC de fragmentação é utilizado como um mecanismo para transmitir uma PDU grande em várias tramas MAC, que são separadas no CM, enviadas e reagrupadas no CMTS, logo este método é usado apenas no *upstream*. Os CM que implementam a norma 2.0 do DOCSIS têm que suportar a fragmentação de tramas, enquanto que para os CMTS não é obrigatório. Na Figura 30 exemplifica-se a segmentação de um pacote.

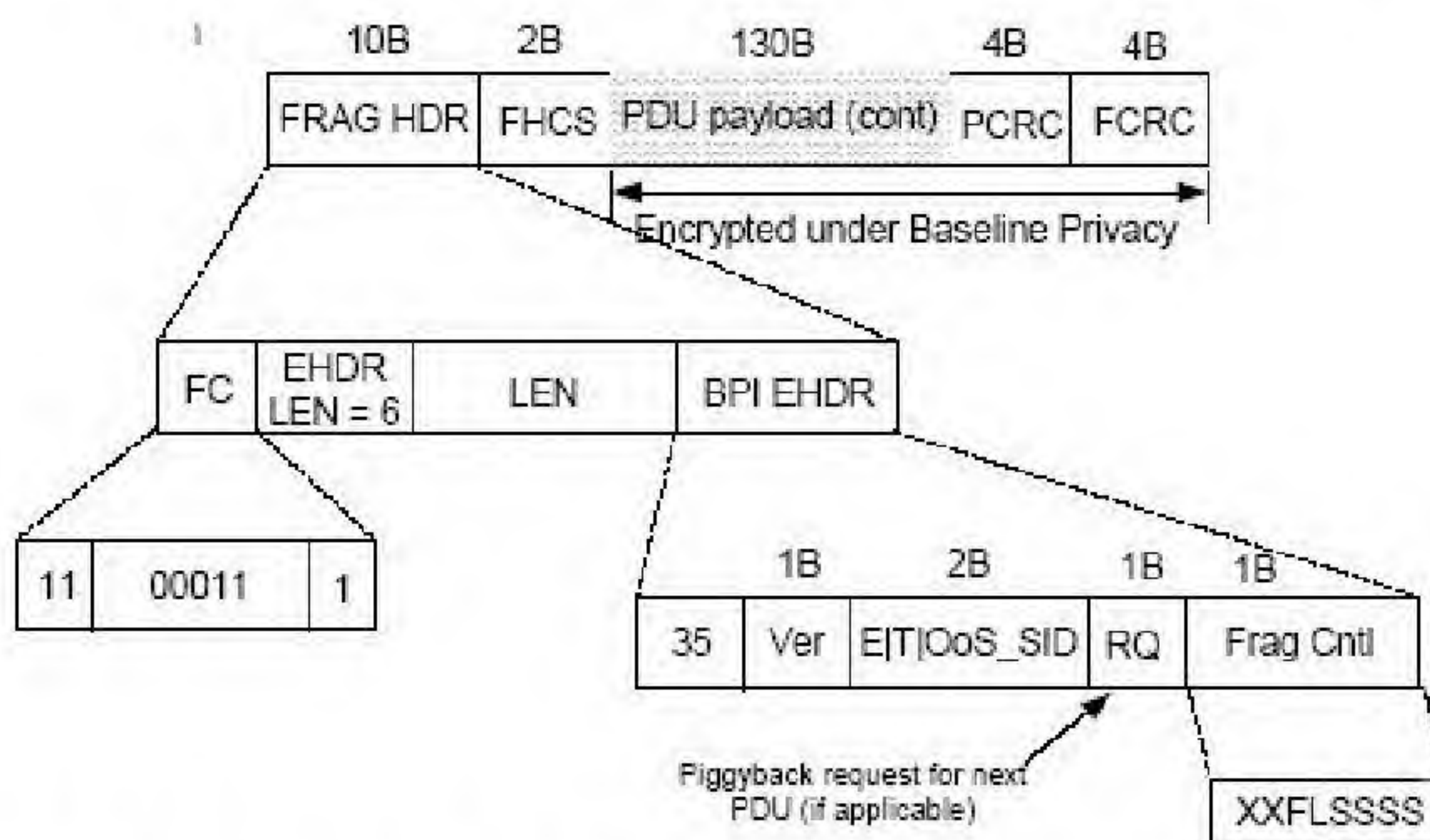


Figura 30 - Formato de cabeçalho MAC para tramas de fragmentação

O campo Fragment Cntl contém os bits FL (First/Last) que indicam o tipo de fragmento, se é o fragmento inicial (FL=10), um fragmento do meio (FL=00) ou o fragmento final (FL=01), o que permite reconstituir o pacote original no receptor, tal como indicado na seguinte tabela:

Tabela 4 - Significados dos bits FL

Bits FL	Tipo de fragmento
10	Inicial
01	Final
00	Do meio
11	Pacote não fragmentado

Para além dos dois bits FL, o campo Fragment Cntl contém 4 bits de número de sequência (SSSS), os quais são incrementados por cada fragmento de trama que é enviado, ciclicamente, o que permite detectar erros na recepção. Os dois primeiros bits (XX) são reservados para uso futuro.

O uso de tramas MAC com concatenação é útil para quando se transmite vários pequenos pacotes, enviando apenas um cabeçalho de camada física, diminuindo assim o *overhead*. Para tal a trama MAC terá que ser toda ela enviada ao mesmo tempo pelo meio físico. O formato do cabeçalho deste tipo de tramas pode ser observado na Figura 31.

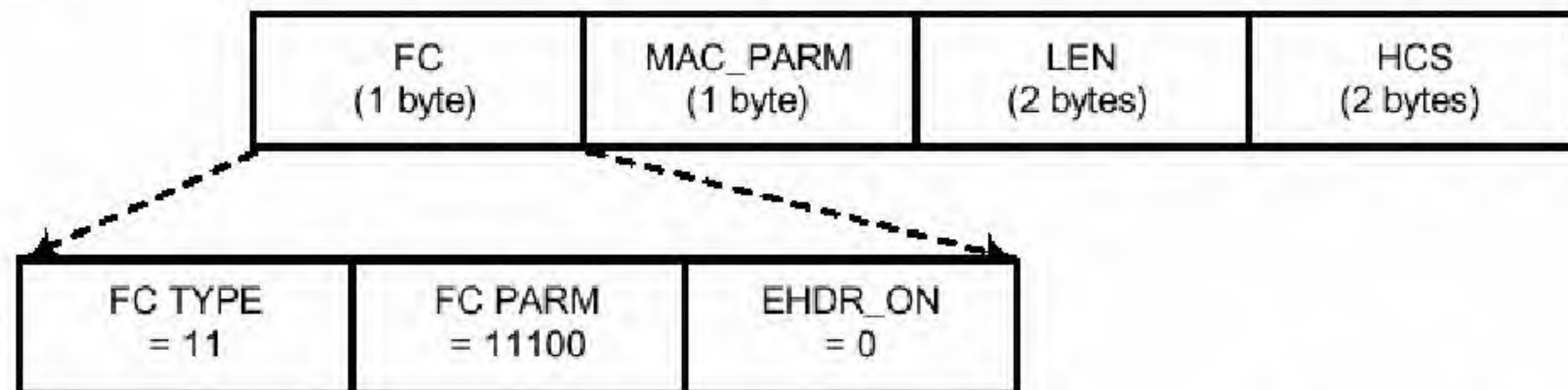


Figura 31 - Formato de cabeçalho MAC para tramas de concatenação

O campo de tamanho deve apontar para o fim do primeiro pacote, sendo que os vários pacotes dentro da trama possam ser de tipos diferentes, tendo como única obrigatoriedade o mesmo ID de serviço entre eles.

Todas as tramas MAC, com excepção da trama de temporização, concatenação e de pedido, têm a possibilidade, como já foi dito atrás, de usar um campo adicional, o EHDR. O formato do campo pode ser observado na Figura 32.

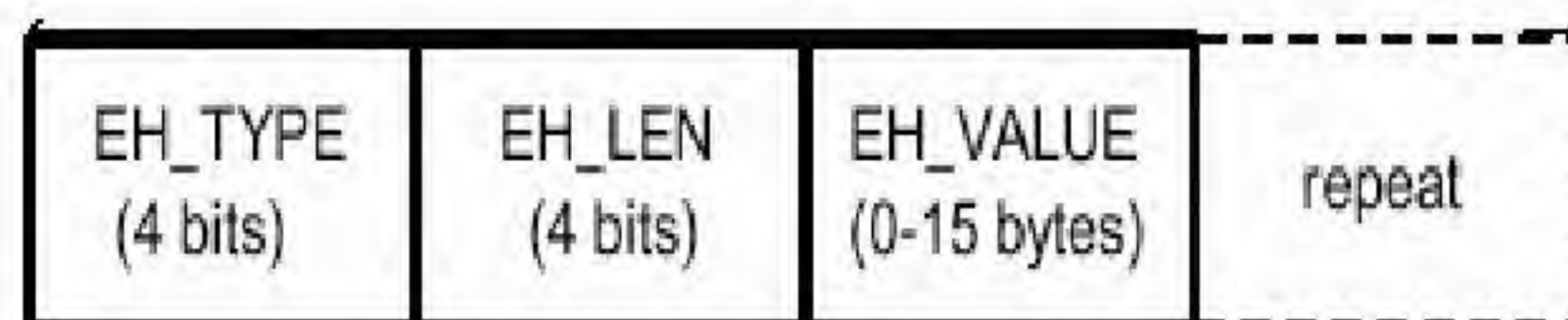


Figura 32 - Formato do campo EHDR do cabeçalho MAC

Este campo tem várias utilizações, entre elas o *Piggyback*. O *Piggyback* serve para fazer pedidos de mini-slots para futuras tramas. Isto aumenta a eficiência do uso de banda, não havendo a necessidade de ter tramas exclusivas para o pedido de novos slots.

9.3 Atribuição de banda upstream

O canal de dados upstream é constituído por um conjunto de slots temporais, geridos pelo CMTS. Este tem a função de manter o sincronismo no canal, assim como de designar slots aos diversos CM's de modo a que estes transmitam os seus dados nos instantes especificados. Para além disso, o CMTS tem a função de policiar o acesso ao meio, verificando se todos os CM's transmitem apenas nos seus slots.

O mapa de 'Allocation' é uma mensagem de gestão MAC transmitida pelo CMTS no canal Downstream, que descreve para cada intervalo, o uso de cada mini-slot. Um determinado mapa pode conter mini-slots destinados a uma estação e outros mini-slots disponíveis para contenção ou para outras estações se juntarem à ligação.

Cada mini-slot é numerado relativamente a uma referência mantida pelo CMTS. A informação de 'clocking' é enviada para todos os CM através de pacotes de sincronismo.

A especificação DOCSIS 2.0 não obriga a um determinado algoritmo de distribuição de mini-slots pelos CM's, sendo que cada vendedor pode implementar o que achar mais conveniente. Na Figura 33 exemplifica-se o funcionamento do MAC no canal upstream.

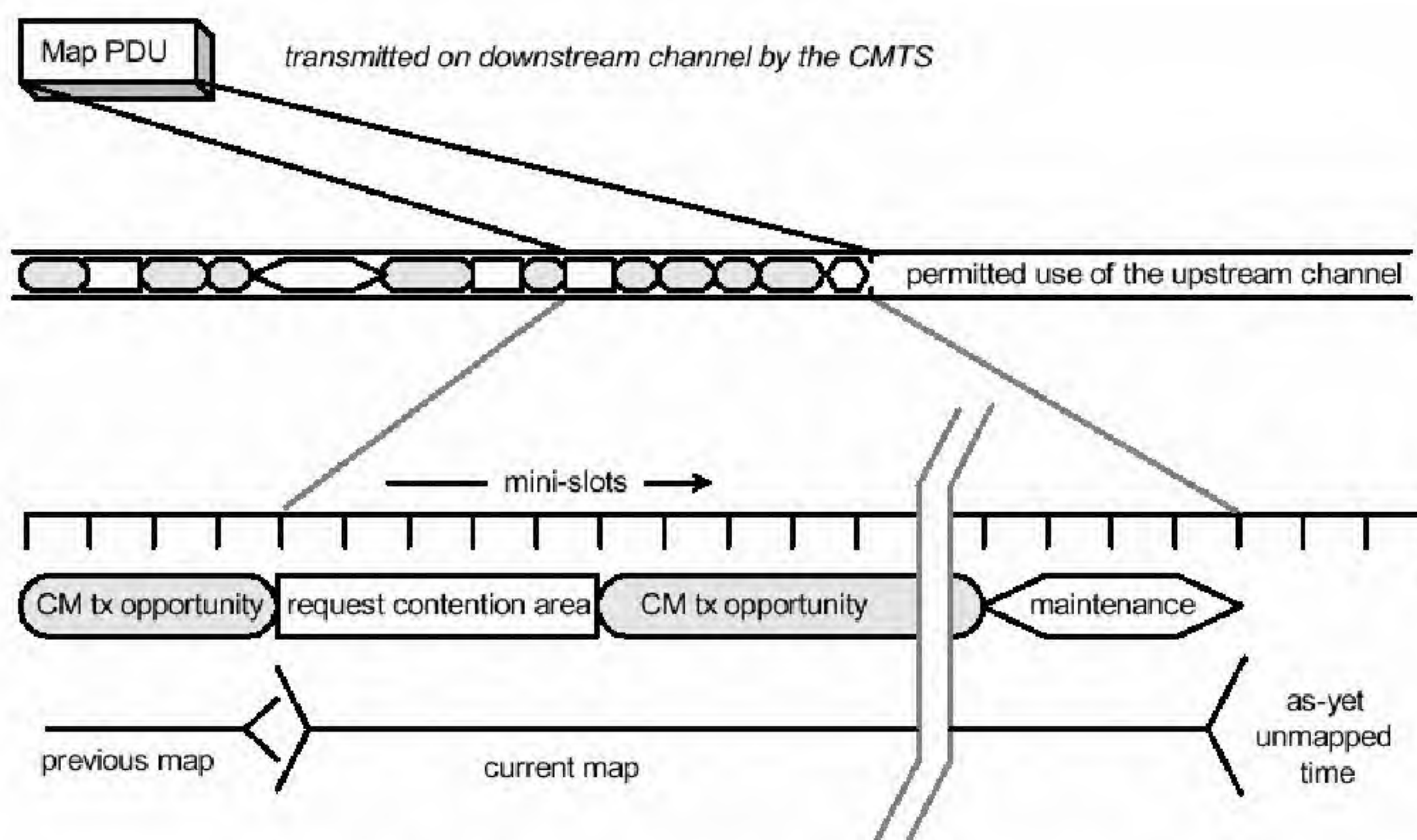


Figura 33 - Funcionamento de MAC upstream

O pedido de banda upstream segue um conjunto de regras, entre os quais:

- Cada CM tem um ou mais identificador de serviço (14 bits) assim como um endereço de 48 bits,
- A banda de upstream é dividida em vários mini-slots numerados, onde a numeração é controlada pelo CMTS, e é sincronizada com os vários CM's por meio de mensagens específicas MAC vistas acima,
- Quando um CM pretende transmitir, emite um pedido de largura de banda ao CMTS.
- O CMTS deve transmitir um mapa das alocações dos mini-slots para os vários CM's pelo canal de *downstream*.

Os pedidos podem ser feitos utilizando para tal tramas MAC específicas em alturas específicas, ou usar o campo extra de uma trama, usando o método de *piggyback* explicado atrás. Os pedidos têm que conter o ID do serviço, e o número de mini-slots pretendido. Na Figura 34 exemplifica-se o mecanismo de atribuição de banda upstream.

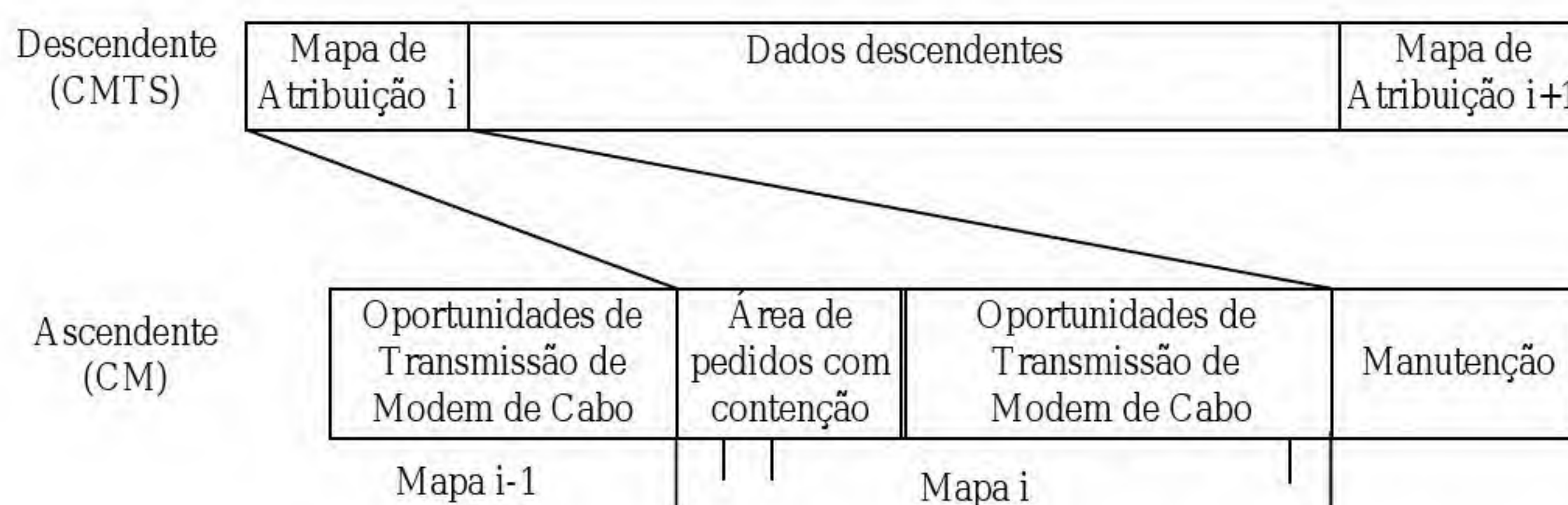


Figura 34 - Mapa de atribuição de banda upstream

Como podemos ver pela figura acima existe um período de Manutenção no qual qualquer nova estação se pode juntar à rede. Durante um longo intervalo (equivalente ao máximo atraso de propagação 'round-trip' mais o tempo de transmissão) é enviada uma mensagem de 'Ranging Request' (RNG-REQ), que permite que novas estações se inscrevam para transmitir dados. Os pacotes transmitidos neste intervalo devem usar o formato de mensagem de 'MAC Management' e usar RNG-REQ.

Cada CM pode pedir no máximo 255 mini-slots seguidos, correspondente a um ou mais pacotes completos, estando como é obvio sujeito a limites administrativos por parte do CMTS.

Este 'Allocation map' tem que ser transmitido a tempo de se propagar através do cabo, ser recebido e manuseado pelos CM, e como tal tem que ser transmitido mais cedo do que o seu tempo efectivo, não pode no entanto descrever um número de mini-slots superior a 4096.

Podemos ver em seguida um exemplo de troca de informação entre o CM e o CMTS quando o CM tem uma PDU de dados que pretende transmitir.

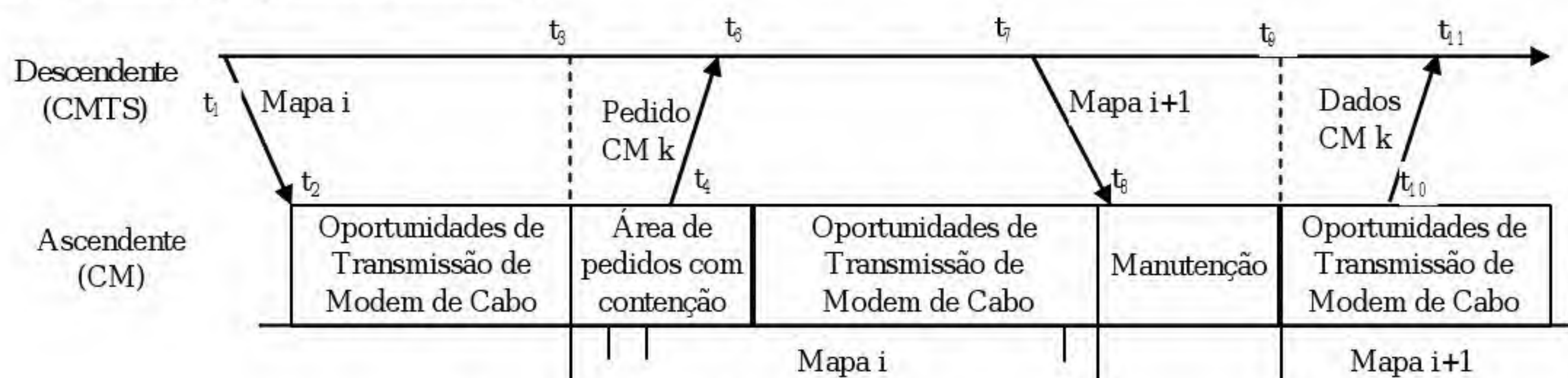


Figura 35 - Exemplo de protocolo

- No instante t_1 o CMTS transmite o mapa que começará efectivamente no instante t_3 . Esta diferença entre t_1 e t_3 é o tempo de propagação *downstream*, mais o tempo de processamento do CM, mais o tempo de propagação *upstream* (de forma a permitir que os dados comecem a chegar ao CMTS no instante t_3).
- Em t_4 o CM faz um pedido para um número de mini-slots de modo a acomodar uma PDU. t_4 é escolhido baseado no 'Ranging Offset' (processo de adquirir a temporização correcta de tal forma que a transmissão fique alinhada no início da mini-slot correcta), de modo que o pedido chega ao CMTS no instante t_6 .
- Em t_6 o CMTS recebe o pedido e agenda-o para o serviço do próximo mapa.
- Em t_7 o CMTS transmite o mapa que se iniciará em t_9 , neste mapa um "crédito" de dados para o CM começará em t_{11} .
- Em t_8 o CM recebe o mapa e procura os seus "créditos" de dados.
- Em t_{10} o CM transmite a sua PDU de dados de modo que esta chegará ao CMTS no instante t_{11} . O instante t_{10} é calculado em função da distância do CM ao CMTS.

9.4 Suporte de qualidade de serviço

DOCSIS 2.0 fornece diversos serviços upstream baseados em 'Service Flows' e em listas de parâmetros de QoS associados a cada serviço. Cada serviço é ajustado a um tipo específico de fluxo de dados. DOCSIS compreende os seguintes serviços básicos:

- **Unsolicited Grant Service (UGS)** - para suportar serviços de tempo real que gerem pacotes de comprimento fixo como por exemplo voz sobre IP;
- **Unsolicited Grant Service with Activity Detection (UGS-AD)** - para suportar fluxos UGS que se podem tornar inactivos durante períodos substanciais como voz sobre IP com supressão de silêncio;
- **Real-Time Polling Service (rtPS)** - para suportar serviços de tempo real que gerem pacotes de dados de comprimento variável como por exemplo vídeo MPEG;
- **Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)** - para suportar serviços que não sejam de tempo real que requeiram dados de tamanho variável como por exemplo FTP de grande largura de banda;
- **Best Effort (BE) service** - para suportar um serviço eficiente de tráfego.

Os parâmetros de QoS, modos de acesso e aplicações para utilização destes serviços são mostrados na tabela seguinte.

Tabela 4 - Serviços QoS definidos em DOCSIS

Serviço	Parâmetros QoS	Modos de Acesso	Aplicações
UGS	Unsolicited grant size	Isochronous access	Videoconference, video on

	Nominal grant interval Tolerated grant jitter		demand
UGS-AD	Unsolicited grant size Nominal grant interval Tolerated grant jitter Nominal polling interval Tolerated polling jitter	Isochronous access Periodic request polling	VoIP with silence suppression
RtPS	Nominal polling interval Tolerated polling jitter	Periodic request polling Piggybacking reservation	VoIP
NrtPS	Nominal polling interval Minimum reserved traffic rate Maximum sustained traffic rate Traffic priority	Periodic request polling Piggybacking reservation Immediate access	High-bandwidth FTP
BE	Minimum reserved traffic rate Maximum sustained traffic rate	Normal reservation Piggybacking reservation Immediate access	telnet, FTP, WWW
CIR	To be defined by vendors	To be defined by vendors	Depend on service definition

9.4.1 Unsolicited grant service (UGS)

O serviço UGS é usado para tráfego de ritmo constante (CBR). Para este serviço o Headend deve proporcionar *grants* de comprimento fixo em intervalos periódicos. Se o fluxo estiver inactivo a largura de banda correspondente pode ser desperdiçada. O serviço diz-se “não solicitado” porque a largura de banda é prédefinida, sem necessidade de enviar pedidos. O exemplo clássico de aplicação CBR é a voz sobre IP (VoIP).

Parâmetros de configuração do serviço:

- Nominal Grant Interval
- Unsolicited Grant Size
- Tolerated Grant Jitter
- Grants per Interval

O *Nominal Grant Interval* é escolhido de modo a igualar o intervalo entre pacotes. Por exemplo, no caso de VoIP com intervalo entre pacotes de 20 ms, o Nominal Grant Interval será de 20 ms. O tamanho do grant é escolhido de acordo com o tamanho dos pacotes da aplicação.

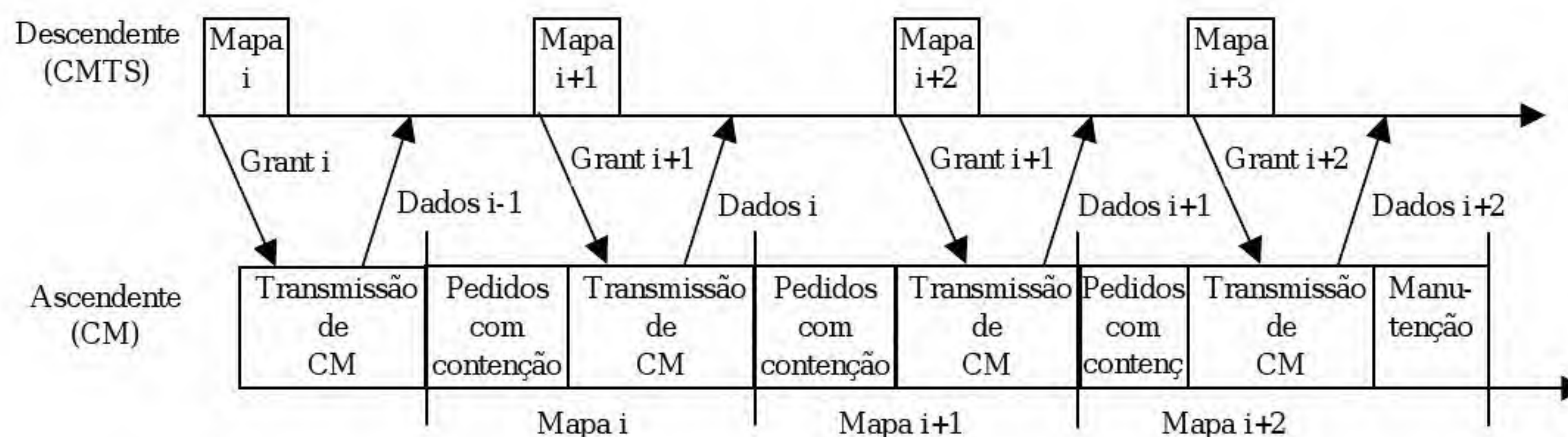


Figura 36 - Exemplo de serviço UGS

9.4.2 Unsolicited grant service with activity detection (UGS-AD)

O serviço UGS-AD é usado para tráfego de ritmo constante (CBR) com possibilidade de suspensão de actividade, como é o caso de VoIP com Voice Activity Detection (VAD) ou supressão de silêncio. VAD é uma técnica em que o Codec pára de transmitir pacotes quando a voz desce abaixo de um determinado limiar. A vantagem do VAD é a redução de largura de banda requerida para uma conversação, estimando-se que 60% de uma conversação é silêncio.

Para o fluxo UGS-AD o *Headend* utiliza um algoritmo de detecção de actividade para examinar o estado do fluxo. Quando um fluxo muda do estado activo para o estado inactivo, o *Headend* volta a proporcionar pedidos de *polling* periódicos.

Parâmetros de configuração do serviço (adicionais ao UGS):

- Nominal Polling Interval
- Tolerated Poll Jitter

Quando não há actividade o CMTS envia unicast polled requests ao CM. Quando há actividade o CMTS envia Unsolicited Grants ao CM. O CM indica em cada pacote o número de Grants que precisa no intervalo, de modo a manter o CMTS constantemente actualizado sobre as suas necessidades.

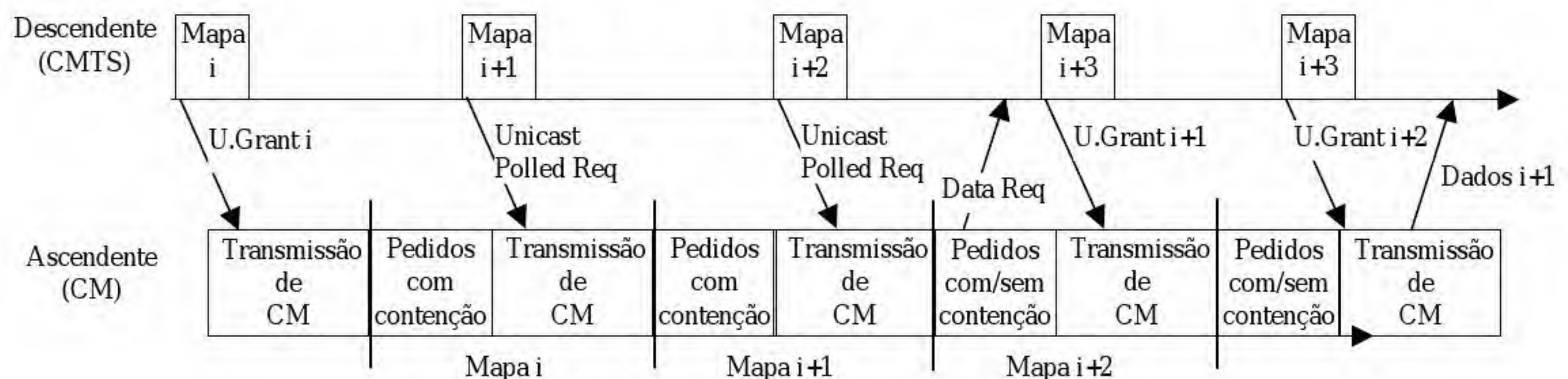


Figura 37 - Exemplo de serviço UGS-AD

Quando o CM está a receber polled requests e detecta actividade da fonte, pede largura de banda para um Grant por intervalo.

Quando o CM está a receber Unsolicited Grants e detecta nova actividade pede mais um grant, contudo devido ao atraso até à sua recepção podem acumular-se pacotes no buffer de transmissão do CM, pelo que o CMTS gerará Grants extra para limpar o buffer.

Quando o CM está a receber Unsolicited Grants e detecta inactividade de um fluxo, pede menos um grant. Como há um atraso até que essa redução ocorra, ocasiona em geral a limpeza do buffer.

Quando o CM está a receber Unsolicited Grants e detecta inactividade em todos os fluxos, envia um pacote indicando zero *grants* e pára a transmissão. O CMTS comuta para o modo Real Time polling. Quando é detectada actividade de novo, o CM envia um pedido num poll a pedir a retoma dos Unsolicited Grants. O CM retoma o envio dos Unsolicited Grants.

Na figura seguinte apresenta-se um exemplo do mecanismo de VAD

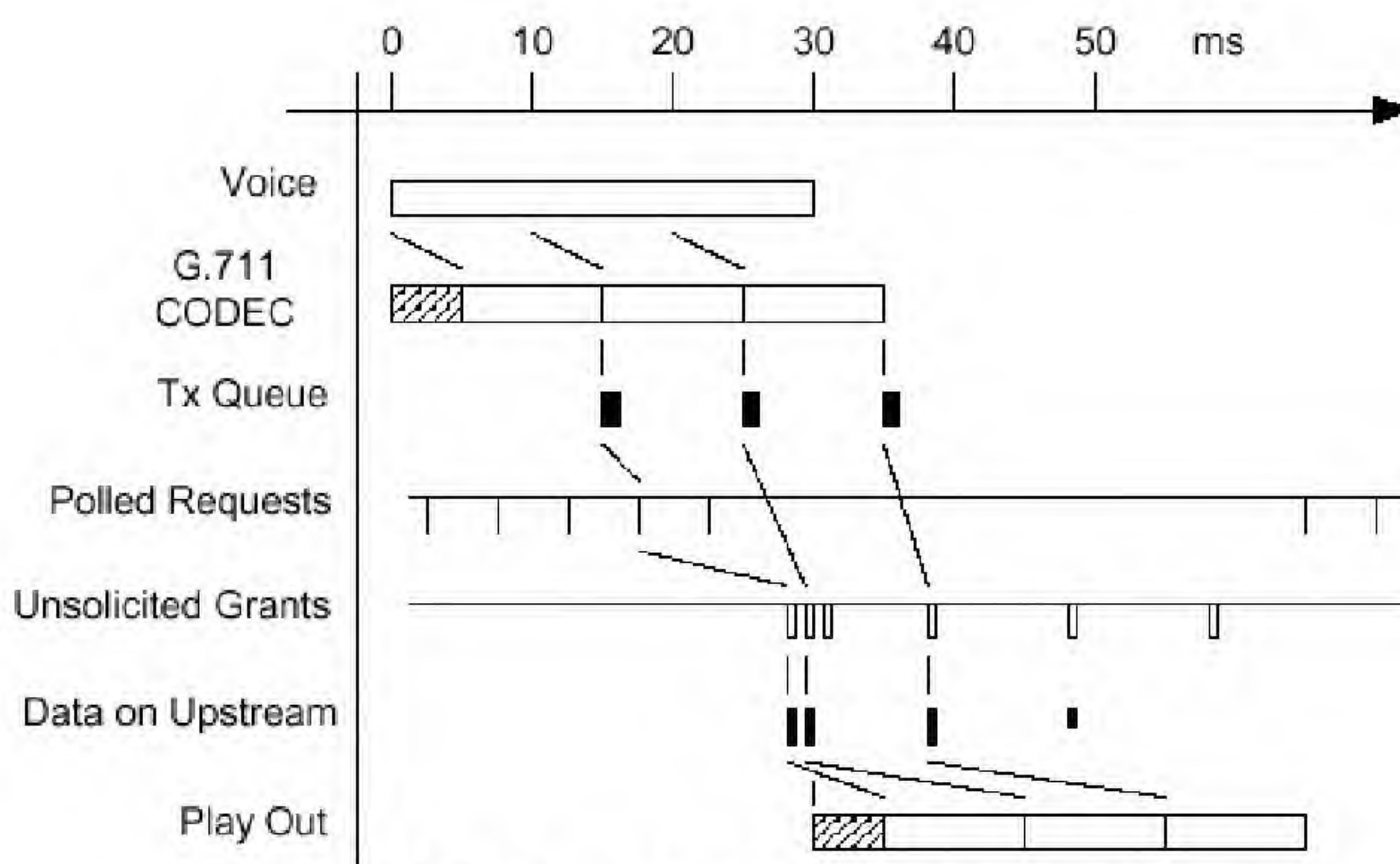


Figura 38 - Exemplo de início e fim de VAD

9.4.3 Real-time polling service (rtPS)

O serviço rtPS é definido para suportar serviços de tempo real que geram pacotes de tamanho variável numa base periódica, como é o caso de vídeo MPEG. Este serviço oferece oportunidades periódicas de unicast request, permitindo ao CM especificar a dimensão dos dados do grant pretendido.

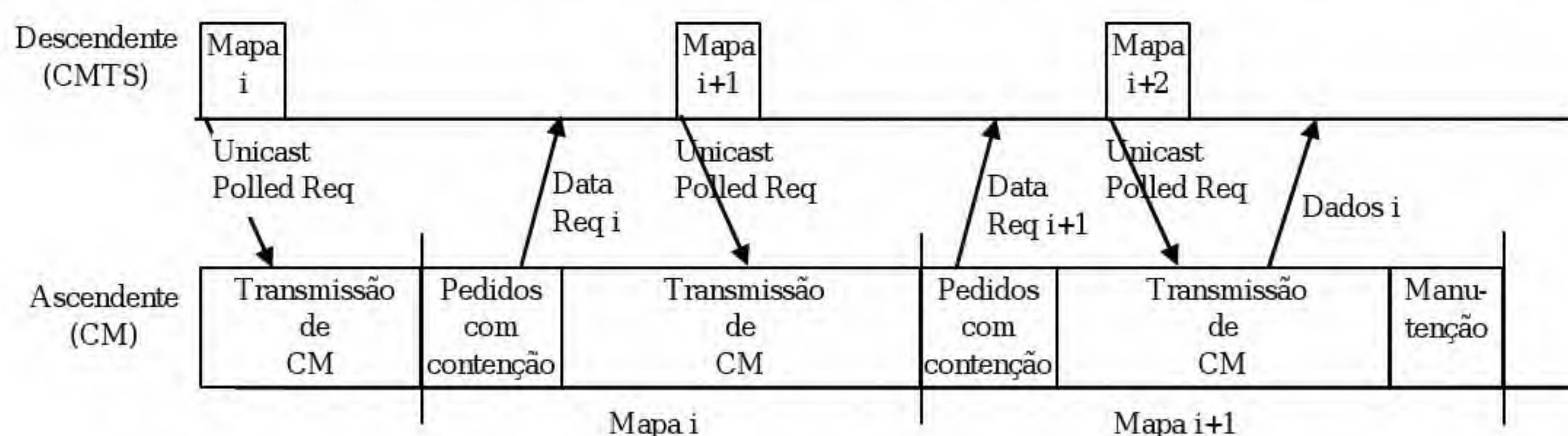


Figura 39 - Exemplo de serviço rtGS

Parâmetros:

- Nominal Polling Interval
- Tolerated Poll Jitter
- Request/Transmission Policy

Quer os fluxos rtPS quer os nrtPS são polled através de request polling periódicos.

No rtPS os fluxos são polled independentemente da carga da rede.

9.4.4 Non-real-time polling service (nrtPS)

Tal como os fluxos rtPS, os fluxos nrtPS são polled através de request polling periódicos.

No nrtPS os fluxos recebem poucas oportunidades de poll quando a carga da rede é elevada.

9.4.5 *Best effort (BE) service*

Para o serviço BE, uma estação deve usar o modo normal de reserva ou o modo de acesso imediato para obter largura de banda upstream.

9.4.6 *Committed information rate (CIR) service*

O serviço CIR pode ser definido pelos fabricantes de diferentes modos. Pode por exemplo ser configurado como um serviço nrtPS com um ritmo mínimo reservado.

9.5 *Especificações da interface de gestão e operação*

As especificações OSSI (*Operations Support System Interface*) permitem o controlo de Cable Modem de múltiplos tipos bem como de CMTS de forma a permitir a interoperabilidade entre diferentes vendedores.

São necessários protocolos de gestão de rede para suportar o DOCSIS 1.1. O protocolo de gestão de comunicações que foi escolhido para gerir serviços de dados sobre cabo foi o SNMP v3. Se bem que este protocolo oferece vantagens, muitos sistemas de gestão poderão não ser capazes de o suportar, como tal é também requerido o uso do SNMPv1 e SNMPv2 e deve ser implementado.

As RFI de DOCSIS 1.1 fornece mecanismos para que o CM se registe com o seu CMTS e se auto-configure baseado em parâmetros de QoS externos, quando faz o Power-up ou o reset.

Dois processos de fornecer classes de Serviço, que estão envolvidos no fornecimento automático e dinâmico de classes de policiamento subscritas, são baseadas no *Service Level Agreement* (SLA), onde se especificam as classes de serviço suportadas e os valores suportados em cada classe.

O principal mecanismo para fornecer QoS diferenciado é a classificação dos pacotes que atravessam o interface RF MAC e caso respeitem o critério aplicado, é estabelecido um Service Flow. Este Service Flow não é mais que um fluxo de pacotes unidireccional, a que é atribuída uma determinada QoS em função da latência, jitter e sobreposição.

O CM (no tráfego Upstream) e o CMTS (no tráfego downstream) garantem esta QoS, através de 'Shaping' 'Policing' e priorização do tráfego através da atribuição de um parâmetro de QoS definido pelo Service Flow.

Os requisitos para a Qualidade de Serviço incluem:

- A configuração e funções de registo para pré-configuração de CM baseado em QoS Service Flow e parâmetros de tráfego.
- Utilização de parâmetros de tráfego QoS para os Service Flows.
- Classificação de pacotes que chegam das interfaces de serviços das camadas superiores para uma Service Flow activa específica.
- Agrupamento de propriedades de Service Flow em Classes de Serviço, de forma que entidades de camadas superiores e aplicações externas (CM e CMTS) possam requerer Service Flows com os parâmetros de QoS desejados de uma forma global consistente.

10 **Baseline Privacy Plus (BPI+)**

A especificação Baseline Privacy Plus (BPI+) permite privacidade de dados sobre a rede de cabo. Esta privacidade é conseguida através da encriptação de dados entre o CM e o CMTS. Além disso permite ainda uma forte protecção contra furto de serviço para os operadores de cabo. O BPI+ implementa um protocolo de manuseamento de "chave" de autenticação entre cliente e servidor, no qual o CMTS controla a distribuição de chaves aos CM clientes. As especificações BPI tinham um fraco serviço de protecção pois o protocolo de gestão da chave não autenticava os CM's. BPI+ reforçou este serviço de protecção adicionando certificados digitais.

A Baseline Privacy + é constituída por dois protocolos:

Um protocolo de encapsulamento para encriptação de pacotes de dados através da rede. Este protocolo define :

O formato das tramas para transportar dados encriptados na camada MAC

Uma série de algoritmos de autenticação e de encriptação de dados suportados

As regras para aplicar esses algoritmos às tramas de pacotes de dados MAC.

Um protocolo de manuseamento de Chaves, que permite uma distribuição segura de chaves entre o CMTS e o CM. A través deste protocolo faz-se o condicionamento ao acesso aos serviços da rede pois só assim é que o CMTS e o CM se conseguem sincronizar.

A encriptação aplica dois tipos específicos de tramas DOCSIS MAC:

- Tramas MAC com PDU's de dados em pacotes de comprimento variável
- Tramas MAC fragmentados

A figura seguinte mostra tramas MAC com PDU's de Dados em Pacotes de Comprimento Variável

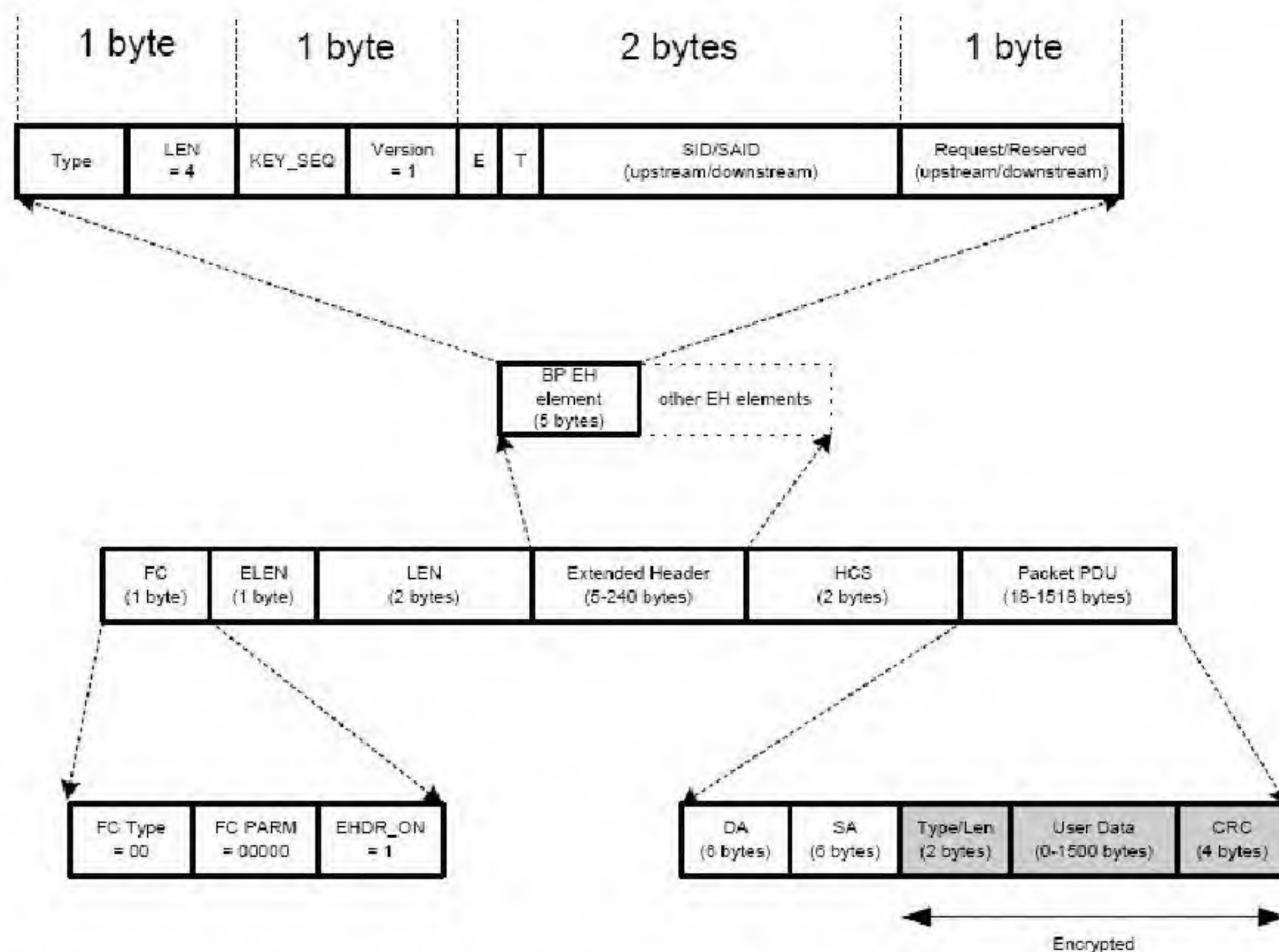


Figura 40 - Estrutura de Pacote de tamanho variável DOCSIS com EH Privacy

Os primeiros 12 octetos do pacote PDU, que contêm o Destination Address e o Source Address (DA/AS) Ethernet/802.3, não são encriptados, têm no entanto o CRC encriptado.

Os elementos 'Privacy Extended Header' empregam dois tipos de elementos EH, BPI_UP e BPI_Down para serem usados nos pacotes de dados para Upstream e Downstream respectivamente.

De modo a suportar fragmentação de tramas MAC em Upstream, a DOCSIS 1.1 reformulou o Baseline Privacy EH, para permitir encriptação e fragmentação. Para isso e quando a funcionar com as duas funcionalidades no elemento Upstream Baseline Privacy EH é acrescentado 1 byte, que serve de campo de controlo de fragmentação. A figura seguinte mostra uma trama MAC com uma 'Payload' encriptada e fragmentada.

FC Type=11 e FC PARM=00011 identifica um trama MAC coma trama a ser fragmentado, que vemos assim com um comprimento fixo de 6 bytes de EH.

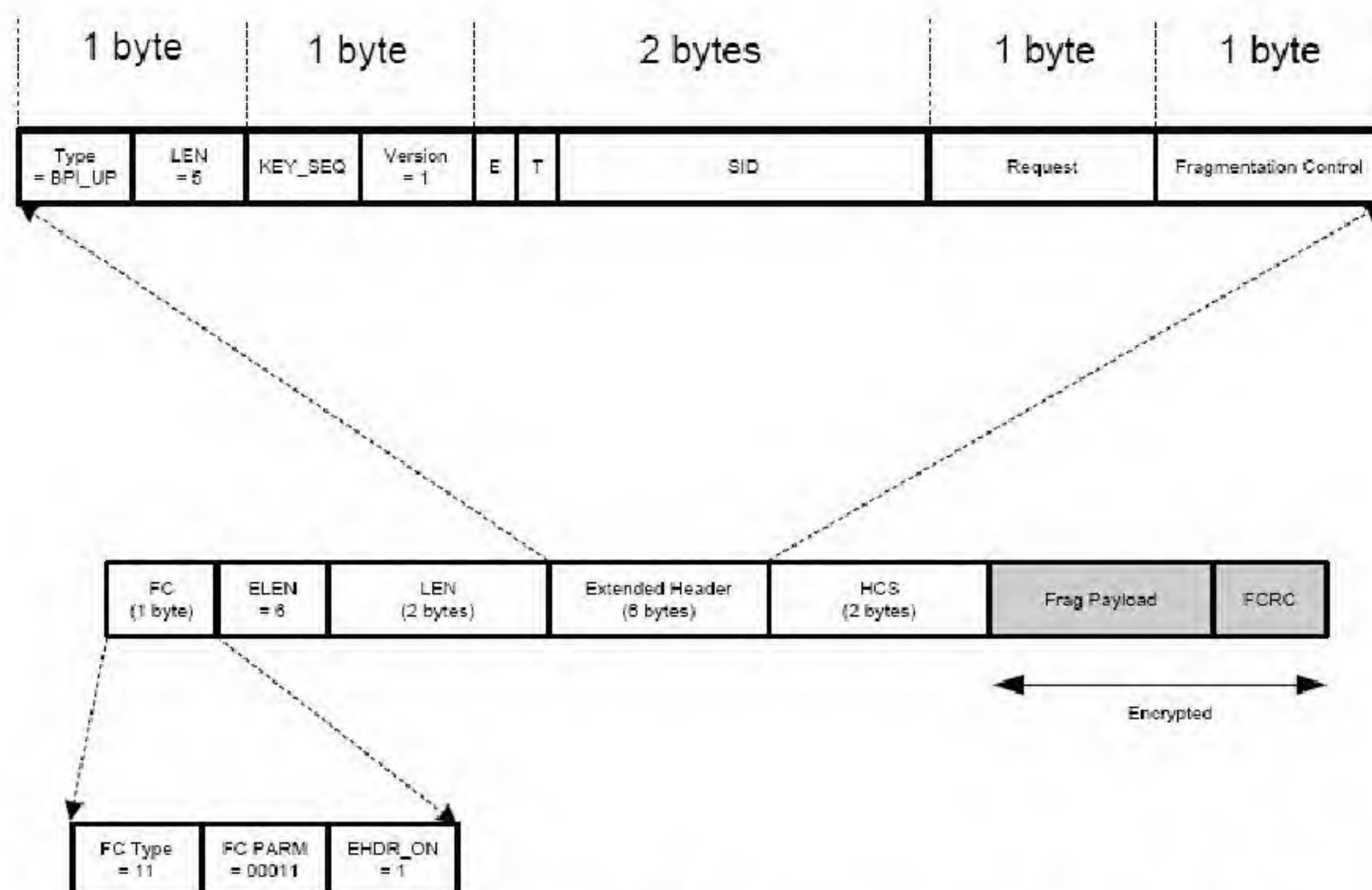


Figura 41 - Formato de Trama com Fragmentação e com Payload cifrado

11 Euro DOCSIS

A aplicação das recomendações DOCSIS na Europa requereu algumas modificações, nomeadamente no nível físico, já referidas atrás. Na Figura 42 apresenta-se o diagrama de protocolos do DOCSIS para a Europa.

OSI	DOCSIS Data Over Cable	
Higher Layers	Applications	DOCSIS Control Messages
Transport	TCP or UDP	
Network	IP	
Data Link	IEEE 802.2	
	DOCSIS MAC	
Physical	Up Stream TDMA (mini-slots)	Down Stream TDM (MPEG)
	5-65 MHz	8 MHz ITU-T J.83 Annex A
	HFC	

Figura 42 - Camadas de Protocolo DOCSIS para a Europa

12 Bibliografia

- [1] W. Ciciora, "Cable Television in the United States" - An Overview, 1995.
- [2] Cable Modem Termination System-Network Side Interface Specification", SP-CMTS-NSII01, July 1996.

- [3] IEEE 802.14/a Draft 3, Rev.3, "Cable-TV access method and physical layer specification", October 1998.
- [4] DOCSIS 1.1, "Cable Modem to Customer Premise Equipment Interface Specification", SP-CMCI-I09, July 2003.
- [5] DOCSIS, "Cable Modem Telephony Return Interface Specification", SP-CMTRI, August 1997.
- [6] DOCSIS, Cable Modem Termination System-Network Side Interface Specification, SP-CMTS-NSI, July 1996.
- [7] DOCSIS 2.0, "Radio Frequency Interface Specification", CM-SP-RFIV2.0-I07, December 2004.
- [8] DOCSIS 1.1, "Baseline Privacy Plus Interface Specification", SP-BPI-I11, April 2004.
- [9] DOCSIS 2.0, Operations Support System Interface Specification", CM-SP-OSSIV2.0, December 2004.

13 Acrónimos

ABR	Available Bit Rate
AAL	ATM Adaptation Layer
AM-VBS	Amplitude Modulation - Vestigial Side Band
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BE	Best Effort
BPI	Baseline Privacy
BPI+	Baseline Privacy Plus
CATV	Community Antenna Television / Cable Television
CBC	Cipher Block Chaining
CBR	Constant Bit Rate
CIR	Committed Information Rate
CM	Cable Modem
CMCI	Cable Modem to CPE Interface
CMTS	Cable Modem Termination System
CPE	Customer Premise Equipment
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRE	Collision Resolution Engine
CS	Convergence Sublayer
DA	Destination Address
DAS-REQ	Dynamic Service Addition Request
DBE	Data Backoff End
DBS	Data Backoff Start
DES	Data Encryption Standard
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specifications
DIX	DEC/INTEL/XEROX
DVB	Digital Video Broadcast
DVB-C	DVB Cable
DVB-S	DVB Satellite
DVB-T	DVB Terrestrial
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FC	Frame Control
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FTP	File Transfer Protocol
HFC	Hybrid Fiber Coax
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Sector
QoS	Quality of Service
LID	Local Identification
LLC	Logical Link Control
LQ	Local Queue
MAC	Media Access Control
MCNS	Multimedia Cable Network System Partners
MIB	Management Information Base
MPEG	Moving Picture Experts Group
nrtPS	non-real-time Polling Service
NSI	Network Side Interface
NTSC	National Television System Committee
OAM&P	Operations, Administration, Maintenance and Provision
OSI	Open System Interconnection
OSSI	Operations Support System Interface
PAL	Phase Alternating Line

PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physical
PHS	Payload Header Supression
PID	Program ID
PMD	Physical Media Dependent
PPP	Point-to-Point Protocol
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RF	Radio Frequency
RFI	Radio Frequency Interface
RQ	Resolution Queue
SAP	Service Access Point
SNMP	S imple N etwork M anagement P rotocol
rtPS	real-time Polling Service
SA	Source Address
SE	Secure Element
SID	Service IDentification
SLA	Service Level Agreement
TC	Transmission Convergence
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TRAC	Telephone Remote Access Concentrator
TRTS	Telephone Return Termination System
TS	Transport Stream
UDP	User Datagram Protocol
UFS	Unsolicited Grant Service
UGS-AD	UGS with activity detection
UNI	User-Network Interface
USB	Universal Serial Bus
VAD	Voice Activity Detection
VoIP	Voice over IP
VBR	Variable Bit Rate
WWW	World Wide Web